

**ZUR ABRIEBFESTIGKEIT VON KRONEN- UND BRÜCKENVER-  
BLENDKUNSTSTOFFEN GEGEN SCHMELZ, UNTER BESONDERER  
BERÜCKSICHTIGUNG EINES NEUEN HARZES**

**Albrecht Weinhold**

---

**1976**

---



Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
der Universität München

Direktor: Prof. Dr. E. Kraft

---

ZUR ABRIEBFESTIGKEIT VON KRONEN- UND BRÜCKENVER-  
BLENDKUNSTSTOFFEN GEGEN SCHMELZ, UNTER BESONDERER  
BERÜCKSICHTIGUNG EINES NEUEN HARZES

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde  
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Albrecht Weinhold  
aus  
Fürstenfeldbruck

München 1976

Mit Genehmigung des Fachbereiches Medizin  
der Universität München

Referent: Prof. Dr. E. Kraft

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 5. 10. 1976



## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                        | Seite |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| A. E I N L E I T U N G                                                 |       |
| I. Zur Erscheinung des Abriebs im natürlichen Gebiß                    | 1     |
| II. Zahnersatz unter gebißphysiologischen Bedingungen                  | 2     |
| III. Gesichtspunkte zur Verwendung von Kunststoffen im Zahnersatz      | 3     |
| IV. Kunststoffe im Lichte von Abrieb und Abbau                         | 5     |
| V. Gebräuchliche Kunststoffe in der Kronen- und Brückenverblendtechnik | 8     |
| VI. Bisherige Untersuchungen                                           | 9     |
| B. Ü B E R L E I T U N G                                               |       |
| I. Ausgangspunkt und Zielsetzung der eigenen Untersuchung              | 14    |
| II. Ausgangspunkte zur Methodik                                        | 14    |
| C. E I G E N E U N T E R S U C H U N G E N                             |       |
| I. Material                                                            | 20    |
| 1) Die verwendeten Materialien                                         | 20    |
| 2) Herstellung und weitere Behandlung der Prüfkörper                   | 21    |
| 3) Die verwendete "Abrasionsmaschine"                                  | 24    |
| II. Methode                                                            | 25    |
| 1) Die eigentliche Prüfmethode                                         | 25    |
| 2) Die näheren Bedingungen                                             | 28    |
| 3) Die Meßmethode                                                      | 31    |

|      |                                                                                                                        |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| D.   | A U S W E R T U N G   D E R<br>E R G E B N I S S E                                                                     |    |
| I.   | Merkmale im Abriebverhalten der einzelnen<br>Kunstharze                                                                | 33 |
| II.  | Gesichtspunkte zur Abstufung                                                                                           | 37 |
| III. | Ergebnisse eines Kontrollversuchs                                                                                      | 39 |
| IV.  | Die Einstufung einer Goldlegierung                                                                                     | 40 |
| V.   | Abriebsspuren am Schmelz                                                                                               | 42 |
| VI.  | Verschleißfesterer Kunststoff und mäßig<br>weiche Goldlegierung in ihrem Abriebs-<br>verhältnis zu natürlichem Schmelz | 44 |
| E.   | D I S K U S S I O N   D E R<br>E R G E B N I S S E                                                                     | 48 |
| F.   | G Ü L T I G K E I T   U N D   T R A G -<br>W E I T E   D E R   V E R S U C H S -<br>E R G E B N I S S E                | 56 |
| G.   | Z U S A M M E N F A S S U N G                                                                                          | 58 |
| H.   | A N H A N G                                                                                                            |    |
| I.   | Tabelle über die näheren Bedingungen<br>der Prüfkörperpolymerisation                                                   | 59 |
| II.  | Meßtabelten der Furchenwerte                                                                                           | 61 |
|      | 1) Vorversuche                                                                                                         | 61 |
|      | 2) Hauptversuche                                                                                                       | 63 |
| III. | Daten der Schmelz- und Stahlspitzen                                                                                    | 75 |
| IV.  | Daten der Wasseraufnahme                                                                                               | 78 |
| V.   | Abbildungen und Diagramme                                                                                              | 82 |
| I.   | L I T E R A T U R N A C H W E I S                                                                                      | 94 |
| J.   | L E B E N S L A U F                                                                                                    |    |

## A. EINLEITUNG

### I. Zur Erscheinung des Abriebs im natürlichen Gebiß

Abrieberscheinungen an natürlichen Zähnen werden gemeinhin als physiologisch anerkannt (37, 50). Kennzeichnend für den horizontalen Abrieb sind abgetragene Höcker, Schliffacetten und ausgeschliffene Fissuren. Dem gegenüber gestaltet vertikaler oder approximaler Abrieb Kontaktpunkte zu Kontaktflächen um (54). Ihm ist zuzuschreiben, daß sich nach Messungen von BLACK (zit. nach ORBAN, 41) ein Zahnbogen im Laufe des Lebens um einen halben bis einen Zentimeter verkürzt.

Durch natürliche Nahrungszerkleinerung entstandene Abrasionsgebisse setzen entsprechend rohe, schleifkörperreiche Kost voraus. Wenn indes auch bei stark aufbereiteter und gereinigter Nahrung bemerkenswerte Abriebsbilder nicht selten sind, muß es noch andere mögliche Ursachen geben.

Beiß- und Mahlvorgänge außerhalb streng mastikatorischer Zwecke bilden den Formenkreis der Parafunktionen und Leermastikation. Neben offensichtlichem Fehlgebrauch des Gebisses im Sinne schlechter Angewohnheiten zählen hierher sogenannte Ausgleichsfunktionen im Sinne "spielerischer Kontrollbewegungen" (HILTEBRANDT, 19) oder "konkomitierender Spielbewegungen" (WILD, 67), ferner Preß- und Knirschgewohnheiten ganz verschiedener Ursache und pathognomonischer Wertigkeit (vgl. dazu auch DRUM, 8). In jüngerer Zeit rückte vor allem nächtliches, der Sensorik weitgehend entzogenes Knirschen und Pressen in den Blickpunkt des Interesses (BREUER, LANGENHOHL, zit. nach MEYER, 37). Wie Untersuchungen von KRAFT

(25, 26) über nächtliche Kaumuskeltätigkeit sowie ihrer Beziehung zu Abrasionserscheinungen erkennen lassen, kann allgemein diese Form der Leermastikation als weit verbreitet und ihr enger Bezug zu Zahnabrieb als gesichert gelten.

## II. Zahnersatz unter gebißphysiologischen Bedingungen

Zahnersatz wird eingegliedert, um funktionelle Mängel und ästhetische Einbußen auszugleichen und zu beheben. Die Anforderungen, die an einen vollwertigen Ersatz gestellt werden, sind nicht ganz einfach zu erfüllen. Er muß sich in jeder Hinsicht so einfügen lassen, daß auch auf längere Sicht keine Störungen in dem einen oder anderen Sinne zu erwarten sind.

Die Gefahr okklusaler Disharmonie ist immer dann gegeben, wenn sich "Anpassung" (UHLIG, 66) als Antwort auf den weiten Bereich der physiologischen wie auch pathogenen Einflüsse nur unzureichend oder übertrieben einstellt. Im Keim vorhandene weitere Funktionsstörungen und -beeinträchtigungen können daraufhin an einem locus minoris resistentiae auftreten (21). Hier wären Zahnbetterkrankungen, funktionelle Kiefergelenksbeschwerden (50) und schließlich auch eine mögliche Förderung parafunktioneller Betätigung zu nennen (8). Nicht zuletzt im Bewußtsein einer gewandelten Einstellung, die innerhalb einer mehr biologischen Betrachtungsweise die Bedingungen des "Gebißbetriebes" (UHLIG, 65) in den Vordergrund rückt, wird heute dem Abriebverhalten eines Zahnersatzmaterials größere Aufmerksamkeit zuteil.

### III. Gesichtspunkte zur Verwendung von Kunststoffen im Zähnersatz

Vor- und Nachteile zahnärztlicher Kunststoffe lassen sich zum Teil gut im Widerschein zu keramischer Masse betrachten, die ja zur Verblendung die einzige Alternative darstellt.

Die meisten Kunststoffe befriedigen die gestellten ästhetischen Ansprüche, wenn auch mit der Zeit gewisse Mängel eintreten (15). Sie sind vergleichsweise problemlos zu verarbeiten, setzen den Zeitaufwand in Praxis und Labor herab und verursachen dadurch - nicht zuletzt - auch bescheidenere Kosten. Namentlich diesen Faktoren dürften die Kunststoffe ihre weite Verbreitung verdanken.

Daneben werden auch vorteilhafte funktionelle Gesichtspunkte geltend gemacht. Hierzu zählen RITZE und UDE (50) unter anderem:

- verminderte Bruchgefahr, vor allem der scherenden Höcker
- Dämpfung des Kaudrucks und damit eine günstige Wirkung auf das Kiefergelenk
- Dämpfung lästiger Schalleigenschaften.

Die genannten Vorzüge haben unterschiedliche Beziehung zu einem der Hauptmerkmale dieser Stoffklasse, der ausgeprägten Elastizität. Andererseits gilt, daß, etwa als Folge von Materialermüdung, "die hohe Elastizität aller bisher bekannten Kunststoffe Biege-, Torsions- und Quetschkräfte mit allmählich zunehmender irreversibler Deformierung beantwortet" (16). Die vielfach beschriebene Neigung zur Aufbiegung des Kronenrandes versinnbildlicht das eigenartige und durchweg nachteilige "plasto-elastische Verhalten" (MARX, 32) dieser Stoffklasse.

Auch ein weiteres, gerne gegen keramischen Ersatz vorgebrachtes Argument, der rasche Ausgleich von Artikulationsstörungen (50, 63), die sich bei Kunststoffzähnen durch anpassenden Abrieb von selbst beseitigen, besitzt nicht gemeinhin Gültigkeit.

Wenn dies auch für Fälle von Frontzahnersatz (24), Versorgung reduzierter Restgebisse (27) und Immediatprothesen (50) von Vorteil ist, wird grundsätzlich immer noch mangelnde Abriebfestigkeit beklagt (49, 15), auch wenn sich seit der bekannten Untersuchung von HOFMANN (20) sicherlich einiges gebessert hat.

Während deshalb reiner Kunststoff zumeist abgelehnt wird (59, 16), sind die Verhältnisse bei Verblendkronen günstiger. Hier können wichtige Funktionen vom Metallgerüst übernommen und andere Nachteile, wie etwa Folgewirkungen des hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten (43), durch zweckmäßiges technisches Vorgehen aufgefangen werden (16, 34).

Auch in ihrem Verhalten gegenüber der Schleimhaut, der sich unter bestimmten Bedingungen keramische Oberflächen fast reaktionslos anlegen können (11), genügen Kunststoffe klinischen Anforderungen im Grunde nicht. Es ist eine Erfahrungstatsache, daß auch bei einwandfreiem Randschluß Entzündungen der Gingiva hier viel häufiger sind (15). Keimansiedlung und Retention von Detritus als mögliche Ursache werden dabei schon durch typische Merkmale der Oberflächengrenzschicht begünstigt. Letztere gilt, wie bekannt, als besonders empfindlich gegen Verarbeitungsfehler und nachträgliche Einflüsse der Gebrauchsperiode. Darüber hinaus fehlt es nicht an Vorstellungen über weitere werkstoffbedingte Angriffsmechanismen (vgl. dazu FUHR, 15). Über den Schädigungswert löslicher Bestandteile urteilt man heute eher zurück-

haltend. Eine Vorstellung bezüglich des Gehalts an löslichem Restmonomer in Prothesenbasiskunststoffen sowie dessen möglicher Wirkungsmechanismen vermittelt MARXKORS (33). FUHR hingegen folgt der Ansicht, daß sich unter zweckdienlicher Verarbeitungsweise (Langzeit-Tieftemperaturpolymerisation) praktisch monomerfreie Werkstücke erhalten lassen.

#### IV. Kunststoffe im Lichte von Abrieb und Abbau

Abweichend von entsprechenden Vorgängen an natürlichen Zähnen und beständigeren Ersatzwerkstoffen äußert sich Abrieb an Kunststoff nicht nur als Folge von Antagonistenwirkung und Nahrungszerkleinerung. Er tritt auch unter der Einwirkung von Wangen- und Lippenmuskulatur (51, 20) sowie der Zahnpflege auf (54, 13). Hinzu kommt noch, daß zahnärztliche Kunststoffe durch ihren weitgehend lockeren, organischen Aufbau gegen verschiedene Abbauvorgänge anfällig sind. Sowohl physikalischer als auch chemischer Natur, schaffen sie in ihrer Gesamtheit mit der Zeit einen Zustand, der durch Alterung gekennzeichnet ist. Dieser Begriff steht stellvertretend für fortgeschrittene Gefügewandlung und -zerstörung, die JANKE (22) je nach Schweregrad in Erosion und Korrosion zu trennen rät. Es liegt auf der Hand, daß mechanische Eigenschaften darunter leiden. Sichtbares Zeugnis für diese Vorgänge sind letztlich Farbbänderungen, die durch Fremdeinlagerungen ermöglicht wurden.

Zu den wichtigsten korrosionsbegünstigenden Einflüssen zählen Feuchtigkeit, Wärme, bestimmte chemische Einwirkungen sowie verschiedene Strahlungs- und Schalleinflüsse.

Die Erscheinung der Wasseraufnahme hat in der Literatur einen großen Widerhall gefunden, da sie ein

Kernproblem im Sinne eines wunden Punktes darstellt. Zwar sind von Material zu Material durchaus Unterschiede vorhanden (48), doch ändert dies am Grundvorgang an sich und den wichtigsten Folgen nur wenig. Der Vorgang der Wasseraufnahme wird durch Strukturmerkmale der Kunststoffe gefördert. Das lockere Gefüge der ineinander verschlungenen Ketten läßt sich durch eindiffundierendes Wasser auseinanderdrängen (43, 48), und polare Gruppen wie  $-OH$ ,  $-CONHR$ ,  $-COOR$ , ferner auch starke Dipole wie  $CN$ ,  $CO$ ,  $CCL$  halten es fest. Der dadurch bedingte Zuwachs an Raum führt zu der beobachteten Quellung, die nach Ansicht von HENKEL (18) zusammen mit Lösungsvorgängen einen wichtigen Schrittmacher für den Abbau darstellt. Die Auswirkung dieser Vorgänge auf die Abriebfestigkeit ist nicht ganz durchsichtig. Wenn auch überwiegend der Eindruck vorherrscht, daß Wasseraufnahme allgemein Festigkeit und Verschleißfestigkeit herabsetzt (43, 12), fehlt es nicht an Befunden, die im letztgenannten Punkte das Gegenteil besagen (38).

Eine wichtige Erscheinung und für viele Kunststoffe wiederum typisch sind die sogenannten Spannungsrisse. Ihr Entstehen wird auf folgende Hauptursachen zurückgeführt:

- eine Gefügemordnung während und als Folge mechanischer Bearbeitung (HANSEN, 17 und KRAFT, 28)
- zu rasche Abkühlung nach dem Polymerisieren (MEYER, 35)
- stattgefundene Wasseraufnahme allgemein (SWEENEY, YOST und FEE, 62) sowie insbesondere auch während des Polymerisierens (SWEENEY, BRAUER und SCHOONOVER, 61) und
- ein primär komplexes Zusammenspiel von Einzelursachen (ONTRUP, 40).

Als letztliche Ursache dieser Erscheinung gelten innere Spannungen, die sich durch zahlreiche und mikroskopisch feine Sprünge und Risse in der Körperhülle ausgleichen können. Sie schädigen die Oberfläche und begünstigen Verfärbungen (35).

Abgesehen von ihrer depolymerisierenden Wirkung (18), sollte Wärme ganz allgemein Gefügeumwandlungen erleichtern. Das läßt sich schon daraus ableiten, daß Kunststoffe physikalisch gesehen zu den Gläsern zählen (60) und auch als unterkühlte Flüssigkeiten betrachtet werden. Da die Moleküle zumindest zahnärztlicher Kunstharze untereinander keine weitreichende Ordnung aufweisen, können sie sich bei zunehmender Erwärmung leicht umorientieren.

Die Verminderung von Rißbildung bei sinkender Temperatur konnten unter anderen SWEENEY, BRAUER und SCHOONOVER (61) an Plexiglaskörpern nachweisen. Die zuvor in Wasser verschiedener Temperatur von 100, 70, 50 und 37°C gelagerten Prüfkörper zeigten nach einem üblichen Rißbildungstest jene Erscheinung, sie fehlte jedoch an Körpern, die für dieselbe Zeit bei 4°C aufbewahrt worden waren.

Einen Eindruck über die Auswirkung von Milieuveränderungen geben die Ergebnisse von STAEGEMANN (57). Zu Alterungsuntersuchungen tauchte er Prüfkörper schnell hintereinander in Wechselbäder verschiedener Temperatur von 20°C und 40°C ein. In einer nachfolgenden Dauerbiegebelastung waren diese Prüflinge einer unbehandelten Kontrollgruppe deutlich unterlegen.

Weitere Schädigung kann von Sauerstoff (22, 18), verschiedenen Lösungsmitteln, wie alkoholischen Lösungen, Äther, Chloroform, Fruchtsäuren und vielen Arznei-

mitteln ausgehen (56). Zu den Strahlungs- und Schalleinwirkungen zählen UV-Licht (22, 52), Röntgenstrahlen (GRAF, zit. nach STAEGEMANN, 57) sowie Ultraschall (ZUKOV und CHENOCH, zit. nach demselben Autor).

#### V. Gebräuchliche Kunststoffe in der Kronen- und Brückenverblendtechnik

Nach ihrer Verbreitung stehen Polymethylmethacrylate (PMMA) an erster Stelle. Sie "stellen heute noch immer den einzig bewährten und erfolgreich verwendeten sowie in seinen Eigenschaften optimalen Kunststoff für Kronen- und Brückenmaterialien dar".

Diese von ARENDS und KEIZER (2) vorgetragene Ansicht steht stellvertretend für die allgemeine Bewertung. Sie ist im übrigen so zu verstehen, daß die Vertreter dieser Stoffklasse zwar keine überragenden Eigenschaften auf einzelnen Gebieten besitzen, dafür aber in vielen Bereichen gleichzeitig bisherigen Ansprüchen genügen (42).

Von den Vinylacrylaten gilt, daß sie den Acrylaten in den meisten Eigenschaften nahestehen. Überlegen sind sie ihnen in den Punkten der Bruchfestigkeit, Steifheit und Wasseraufnahme (42).

Trotz einiger bemerkenswerter Eigenschaften wie chemische Beständigkeit, Festigkeit und einzigartige Haftung an verschiedenen Metallen und anderen Stoffen (43) vermochten sich Epoxyharze bislang nicht durchzusetzen. Dies hat seinen Grund in wesentlichen Nachteilen: Neben mangelnder Farbbeständigkeit, verlängerter und erhöhter Wasseraufnahme, die ihrerseits den Polymerisationsvorgang und die Bindeeigenschaften beeinträchtigt, liegt dies auch an Sensitivierungs-

problemen sowie Reizungen, die von einigen der benötigten Startersysteme ausgehen (43, 42).

Als Bowenformel wird eine Synthese bezeichnet, die in ihrem Kern einem Epoxyharz ähnelt und anstelle der funktionellen, reaktiven Seitengruppen je einen Acrylrest trägt. Die Polymerisation läuft über diese Reste ab und mit Hilfe der bei den PMMA üblichen Startersysteme (43). Diese Verbindung bestimmt bisher in Variationen den Aufbau vieler der sogenannten Composite-Füllmaterialien, die, wie der Name andeutet, noch Zugaben von anorganischen Füllern enthalten. Vor allem das einem Epoxyharz entlehnte Rückgrat bürgt für überlegene Zähigkeit und andere wünschenswerte Eigenschaften (43). So verwundert es nicht, daß man, wie neuere Erzeugnisse vermuten lassen, diese Verbindungsklasse langsam für die Verblendtechnik zu erschließen versucht.

#### VI. Bisherige Untersuchungen

Für die Messung der Abriebfestigkeit gibt es keine verbindliche Vorschrift. Die Wahl der Methode ist dem Untersucher anheim gestellt.

Eine grundsätzliche Möglichkeit besteht zunächst darin, frei von klinischen Bezügen rein werkstoffkundliche Untersuchungen durchzuführen. Dazu können angefertigte oder aus anderen Bereichen übernommene Materialprüfgeräte dienen. Als einfache, technisch naheliegende Möglichkeit gehört hierher das Prinzip der rotierenden Walze, die mit Schmirgelpapier gespannt sein kann (45) oder selbst von einem homogenen Feilhiebrelief geprägt ist (7).

Viele Untersucher sind indes bemüht, in gewissen Grenzen Verschleiß wirklichkeitsnah herbeizuführen. Das zeigt sich einmal in der Art, in der die Prüfkörper vorbehandelt werden. Sie zu "konditionieren" heißt vielfach, sie dem nachgeahmten, feucht-warmen Milieu der Mundhöhle für eine gewisse Mindestzeit auszusetzen. Innerhalb eines Kataloges mit mehreren Grundforderungen lautet es dazu bei BIESKE (4), daß das zu untersuchende Material ständig von Feuchtigkeit umgeben sein müsse und die zu untersuchenden Kunststoffe... wenigstens für 30 Tage im Wasserbad von 37°C zu bleiben hätten.

Zum anderen weist auch die Abriebsart eine Beziehung zu natürlich vorkommender Belastung auf. Hier lassen sich trotz der Vielfalt der Methoden mit Übergängen zwei grundsätzliche Richtungen erkennen.

1) Substanzverlust durch Einsatz von Schleif- und Poliermitteln. Als Beispiel sei das Vorgehen von BIESKE (4) genannt, der in einer Schleifkornaufschleppung zwei abnutzungsfähige Körper flächig gegeneinander reiben ließ.

Der sehr verbreitete "Zahnbürstentest" zeichnet sich gegenüber vielen anderen Verfahren durch seine methodisch einfachere Reproduzierbarkeit aus. Wichtige Punkte dieser Technik wurden durch eine Untersuchung von FLERLAGE und MARXKORS (13) erhellt. Wenngleich sich bequem und für bestimmte Belange zutreffend Einzelerkenntnisse gewinnen lassen (55, 64), "bleibt doch der adäquate Test der mastikatorischen Abrasion ein unbewältigtes Problem" (MARX, 32).

2) Substanzverlust im wesentlichen unabhängig von Schleifmittel durch unvermittelte, druckentfaltende Wirkung eines genormten Reibekörpers, der sich

im Falle a) nach Möglichkeit nicht abnutzen soll und gegebenenfalls rechtzeitig ersetzt wird. Hierzu zählen wir eine Apparatur, mit welcher ROTHEN (zit. nach MEYER, s.u.) den Abrieb bestimmte, ferner das Gerät von MEYER (38). Beide verwendeten genormte Stähle in passender Verformung.

Im Falle b) sind beide Antagonisten abnutzungsfähige Prüfkörper, deren getrennter Substanzverlust interessiert. Nach diesem Prinzip gingen MONASKY und TAYLOR (39) sowie v. SAAL (52), BAUER (3) und andere vor. Abgesehen von Einzelheiten der Mechanik liegen die Hauptunterschiede der hier eingereichten Geräte und Methoden in Form und Material der Prüfkörper, der Gestaltung der unmittelbaren Reibezonen und gegebenenfalls in der Art der rhythmisch wiederkehrenden Antagonistenbeziehung, mit welcher mastikatorische Bewegungen nachgeahmt werden sollen.

Die unter die genannten Einteilungsprinzipien fallenden Methoden nehmen reinen oder gemischten Bezug auf zwei Grundtypen natürlicher Belastung. Nach UETZ und FÖHL (64)

bewirken Leerbiß und Zähneknirschen eine Gleitbeanspruchung der beteiligten Feststoffe unter relativ hohem Druck, unter Anwesenheit eines flüssigen Zwischenstoffes (Mundspeichel).

Bei der Zahnpflege mit Zahnpasten wirken feste Zwischenstoffe körniger Form mit. In diesem Fall herrscht der Mechanismus des Abrasivverschleißes vor.

Da es also grundsätzlich kein einheitliches Abriebgeschehen gibt, werden auch gegenteilige Ansichten zur Beziehung von Härte und Abriebfestigkeit erklärlich. Daß "die Härte eines Kunststoffzahnes mit Sicherheit auch beim Effekt der "Abrasion" eine Rolle spielt" (MARX, 32), läßt sich zumindest für den Mechanismus der Gleitbeanspruchung unter hohem Druck annehmen.

Angeichts der unterschiedlichen Abnutzungsmechanismen und -techniken steht nach allem eine verschiedene Reaktionsweise der Prüflinge zu erwarten, so daß Untersuchungsbefunde in gewissem Maß durchaus methodenspezifisch sind.

Dieser Gefahr ist am leichtesten über ausgesprochen klinische Versuche vorzubeugen, wie sie von einigen Autoren (14, 50) an totalem Zahnersatz durchgeführt wurden. Wenngleich dieser Weg aus verständlichen Gründen seltener begangen wird, gibt doch auf die Dauer allein die Bewertung aus klinischer Erfahrung die einzig maßgebliche Beurteilung ab.

Insgesamt können mögliche Schlußfolgerungen lauten,

- 1) daß Abriebs- und Verschleißversuche an Kunststoffen problematisch sind,
  - a) infolge ihres plasto-elastischen Verhaltens (MARX, 32),
  - b) aufgrund verschiedener natürlicher Verschleißmechanismen,

- 2) daß daher eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden entwickelt wurde, deren Ergebnisse sich naturgemäß unterscheiden und schwer vergleichen lassen,
- 3) daß deshalb im Hinblick auf die Aussage der Gültigkeitsanspruch gemäß der verwendeten Methode sinnvoll zu begrenzen ist, und
- 4) "daß alle Abriebsfestigkeitsprüfungen mit größter Vorsicht zu bewerten sind" (HENKEL und TAEGER, zit. nach MARX, 30).

## B. Ü B E R L E I T U N G

### I. Ausgangspunkt und Zielsetzung der eigenen Untersuchung

Die beschriebene Situation der Abriebmeßtechnik hat zur Folge, daß sich die Standorte neuer Erzeugnisse nicht ergänzend, sondern allein durch neuerlichen, direkten Vergleich mit bekannten Materialien ermitteln lassen. Auf diese Einsicht hin haben wir uns an Zielen gesteckt,

- die Abriebfestigkeit einer Reihe handelsüblicher Kronen- und Brückenverblendmaterialien zum Vergleich zu prüfen,
- dabei als Nebebefund auch Aufschlüsse über den Einfluß verschiedener Herstellungswege zu gewinnen,
- den Standort abriebfesterer Kunstharze gegenüber weichem Gold herauszufinden,
- interessehalber auch Rückwirkungen an den verwendeten Schmelzantagonisten im Sinne ihres Eigenabriebs zu erfassen und
- für bestimmte Fragestellungen zusätzlich die Größe der jeweiligen Wasseraufnahme zu ermitteln.

### II. Ausgangspunkte zur Methodik

Bevor wir im nächsten Kapitel die Einzelheiten der Versuchsdurchführung beschreiben, seien ihre "Eckpfeiler" gesondert vorangestellt.

Sie beziehen sich

- 1) auf die Wahl der Abriebsmethode und damit zusammenhängende Fragen wie den Einsatz zusätzlich abrasiver Teilchen und die Anwendung der Druckgröße,
- 2) auf Gesichtspunkte der Prüfkörperherstellung und
- 3) auf die Art ihrer Vorbehandlung in Feuchtigkeit und Wärme.

Zu 1)

Mehr als vorwiegend pflegebedingter und ästhetisch nachteiliger Facettenabrieb interessierten uns funktions- wie paraunktionsgetragene okklusale Verschleißarten. Dabei hielten wir eine druckerzeugende Abriebsmethode für angebracht. Inwieweit sich hierbei das angestrebte Prinzip der Gleitbeanspruchung verwirklichen ließ, hing von weiteren Versuchsbedingungen ab. Auf zusätzlich abriebwirksame Teilchen verzichteten wir. Dies fiel uns umso leichter, als wir das komplex den Abrasivverschleiß mit umfassende Kaugeschehen (64) ohnehin nicht nachvollziehen konnten und wollten. Im übrigen galt, daß ihre Verwendung nur dann Sinn versprach, wenn sie mit den sonstigen Versuchsgegebenheiten in Einklang zu bringen war.

Vor allem bei druckbetonender Methode gebührte der gemeinhin anerkannten und in ihrer Berechtigung teilweise auch belegten Forderung nach Druckgleichheit (vgl. dazu auch BÖHL, 5 sowie FLERLAGE und MARXKORS, 13) nicht nur strenge Beachtung, sondern auch konsequente Anwendung. Sie beinhaltet nämlich zwei getrennte Teilforderungen:

- absolute Druckgleichheit zu Beginn eines Versuchsdurchganges und, wenn nicht anders möglich, zumindest
- relative Druckgleichheit im Verlaufe des Abriebgeschehens.

Während Druckprobleme in dem einen oder anderen Sinne bei Bürstenabrieb kaum aufkommen, bei Walzenabrieb leicht zu lösen sind (vgl. BURKHARDT und VOGEL, 7), scheint namentlich die zweite Teilforderung immer dann unerfüllbar zu sein, wenn sich als Folge des Abriebs die Antagonisten gegenseitig einschleifen. Ein Beispiel dafür sind die von v. SAAL (52) aufgezeichneten Profiländerungen, die an den Antagonisten nach Beendigung des Abriebs aufgetreten waren. Die je nach den Abriebseigenschaften unterschiedlich veränderten Berührungsflächen wirken umgekehrt auf die Drucke zurück.

Diesen, unter gewissen Bedingungen stark wirksamen Störeinfluß abfangen zu wollen, hieß, die Versuchsanlage im Ganzen gezielt dieser Absicht unterzuordnen.

Zu 2)

Bei der Herstellung der Prüfkörper galt es, zwei Gesichtspunkten Rechnung zu tragen,

- Methodentreue, um den auf die Praxis bezogenen Aussagewert nicht zu gefährden und dennoch
- bestimmte Normierungen vorzunehmen, um Streuwirkungen klein zu halten.

Dies bezog sich auf drei Gesichtskreise:

- a) Polymerisationsweise
- b) Art der verwendeten Küvette
- c) Oberflächenbeschaffenheit

Zu a): Innerhalb der Küvetten-verarbeitungstechnik hatten wir zum Teil die Wahl zwischen Naßpolymerisation und Langzeit-Trockenpolymerisation. Da verschiedene Untersuchungen zumindest an Prothesenbasiskunststoffen keinen Vorteil der einen oder anderen Methode erkennen ließen (vgl. STAWECKI, 58 sowie KRAUSE und HIPPEL, zit. nach EICHNER, 9), wendeten wir, auch im Sinne von Punkt 1 der Vorbemerkung, das verbreitetere und bequemere Verfahren der jeweiligen Naßpolymerisationsweise an (29). Zusätzlich brachte das den Vorteil, daß mehr Kunststoffe auf diese Weise verarbeitet werden konnten.

Zu b): Ungeachtet einiger wesentlicher Vorteile der Metallform, wie bequeme Handhabung, Volumenkonstanz, homogene Wärmeverteilung, Fortfall jeglicher Isolierungsmaßnahmen, konnte gemäß Punkt 1 auf die herkömmliche Gipsküvette nicht verzichtet werden. Den Hauptgrund sahen wir in dem typischen Temperaturverlauf während des Polymerisationsvorganges (9, 43). Er sollte unbedingt nachgeahmt werden. Immerhin wären sonst Rückwirkungen auf mechanische Eigenschaften wie die Festigkeit nicht auszuschließen gewesen. Wie ja bekannt ist, hängt die Kettenlänge der Moleküle in gewisser Weise auch vom stattgefundenen Temperaturverlauf ab (43).

Besondere Nachteile der Gipsküvette wollten wir indes aus Gründen, die Punkt 2 nennt, nicht hinnehmen. Dazu gehörten vor allem härtebedingte mangelnde Volumenkonstanz und das Temperaturgefälle, das von den Seitenwänden großer Küvetten zur Mitte hin besteht. Durch gezielte Maßnahmen begegneten wir diesen Einflüssen.

Zu c): Bei der Oberflächenbeschaffenheit ging es vor allem um die Frage, ob Schliff allein genügte oder ob zusätzlich noch Politur angeraten war. Verschiedene Gesichtspunkte sprachen für einen Hochglanz:

- KÖRBER (23) konnte herausfinden, daß hierdurch die Oberfläche von Kunststoffen verdichtet wird, wobei sich Ritzhärte und Kratzfestigkeit steigern.
- Bei elektronenoptischen Betrachtungen stellten BURKART und SCHMID (6) fest, daß sich bei Kunststoffen durch Schleifen unregelmäßig ganze Schollen herauslösen, bei Metallen dagegen der Körnung entsprechend nur Späne.
- Die praktische Folgerung lautete, daß sich bei Kunststoffen durch Hochglanz quasi reproduzierbare Grenzverhältnisse schaffen ließen, die positive Rückwirkungen auf die erreichbare Abriebfestigkeit haben sollten. Außer dieser "Optimierung" wurden so auch bessere Grundlagen beim Vergleich mit Materialien anderer Werkstoffklassen hergestellt, sofern diese ebenfalls poliert waren. Daher war auch für das verwendete Gold Hochglanz zu fordern.

Zu 3)

Die von Feuchtigkeits- und Temperatureinflüssen ausgelösten Folgewirkungen sollten nachgeahmt werden. Die Rolle des Speichels ersetzen wir dabei durch Wasser.

Einerseits hat schon SANTORIK (zit. nach FISCHER und MÜNSTERMANN, 12) gezeigt, daß zwischen Wasser und Speichel in dieser Hinsicht kein Unterschied besteht. Zum anderen rechtfertigte auch seine Zusammensetzung diese Vereinfachung. Nach SAUERWEIN (54) ist sie sehr variabel. Es entfallen 99,0 bis 99,5 % auf Wasser, der Rest verteilt sich auf Muzin, Eiweiß, Mineralien u. a. m. Auch der Einfluß der Feuchtigkeit mußte die Kunststoffe so treffen, daß die bewirkten Folgeerscheinungen jeweils typisch und nicht, versuchsbedingt, zufällig ausfielen. Wir vergewärtigten uns, daß die Wasseraufnahme einmal temperaturabhängig und zum anderen auch werkstoffspezifisch ist (43, 61). Am sichersten war es daher, wenn durch Sättigungsnähe eine Art stabiler Endzustand eintreten konnte. Bei nachgeahmter Mundhöhlentemperatur wurden die Diffusionsvorgänge beschleunigt und Folgen der Wärmewirkung mit erfaßbar.

## C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

### I. Material

#### 1) Die verwendeten Materialien:

Die vergleichsweisen Standorte der Abriebfestigkeit und Wasseraufnahme ermittelten wir für sechs verschiedene Kronen- und Brückenverblendmaterialien. Im einzelnen lagen uns vor:

- ein neu entwickeltes Erzeugnis der ESPE GMBH,  
Seefeld/Oberbayern (E)
- SR-Pyroplast "Colorstat", IVOCALAR AG, Schaan/  
Liechtenstein (Py)
- Luxene Crown & Bridge Vinyl Resin,  
HOWMEDICA, INC. N.Y., N.Y. (L)
- Palaferm "Neue Formel", KULZER & CO. GMBH,  
Bad Homburg (P)
- SR C & B "Colorstat", IVOCALAR AG, Schaan/  
Liechtenstein (SR)
- Biodent K + B 75, DE TREY GESELLSCHAFT MBH,  
Wiesbaden (B)

ferner:

Degulor B, DEGUSSA, Frankfurt/Main (Deg B)

Diese Kunststoffherzeugnisse verteilen sich auf die schon aufgeführten Verbindungsklassen. Das erstmalig von uns geprüfte Harz E baut sich auf dem Typ einer abgewandelten Bowenformel auf und soll nach den Angaben des Herstellers überlegene Abriebfestigkeit besitzen. Pyroplast vereinigt Acrylatanteile mit dem zuvor genannten Verbindungstyp.

Luxene Kronen- und Brückenmaterial stellt ein Vinylacrylat dar. Palaferm, SR- und Biodent-Kunststoffe vertreten schließlich die Klasse der PMMA. Letztere beiden Harze wurden außerdem auf mehrfache Weise verarbeitet.

## 2) Herstellung und weitere Behandlung der Prüfkörper:

Unsere für die Abriebsuntersuchung hergestellten Kunststoffkörper waren quaderförmig und maßen 26 x 10 x 3 mm. Sie wurden nach vier verschiedenen Techniken verarbeitet:

1. Nach der bekannten Gips-Küvetten-Technik (K):  
SR als SR-K, Biodent als B-K, Palaferm und Luxene,
2. über ein hydro-pneumatisches Heißpolymerisationsverfahren (H):  
SR als SR-H und Harz E in einem glycerin-gefüllten "Ratiident Poly-Jet" Polymerisationsautomaten<sup>1</sup> sowie Biodent als B-H im wassergefüllten Extramat. Der einfacheren Bezeichnung wegen werden wir künftig in diesem Zusammenhang einheitlich von Hedentverfahren sprechen,
3. über eine Kombination aus 1 und 2 (KH),  
deren Nutzung sich auf Biodent als B-KH beschränkte sowie
4. über eine Polymerisation im Heißluftstrahl des Pyroconvectors<sup>2</sup> ohne Verdichtung. Dieses Verfahren wird auch Pyroplastverfahren genannt und kam einzig für den gleichnamigen Kunststoff zur Anwendung.

1: freundlicherweise uns durch die ESPE GMBH überlassen

2: freundliche Leihgabe der IVOCAR AG

Zu 1.

In den Gips großer, für die Prothesenherstellung gebräuchlicher Küvetten betteten wir statt zugeschnittener Wachsstreifen entsprechende, verwindungssichere Messingriegel ein. Dadurch, daß wir den Hartgips äußerst trocken anrührten, in stets gleichem, abgewogenen Gips/Wasser-Verhältnis und dann die gefüllten Küvettenhälften einer gezielten Wärmebehandlung unterwarfen (18 - 20 Std. bei 75°C), steigerten wir seine Härte (46). Diese Maßnahmen dürften auch die Gefahr eines unterschiedlichen Feuchtigkeitsschadens herabgesetzt haben, dem wir im übrigen mit der gebräuchlichen Isolierung durch Alginat und Zinnfolie begegneten.

Indem wir jeweils nur vier Körper, mit den Längsseiten parallel zu den Küvettenwänden, einbetteten, glichen wir den Einfluß des bestehenden Temperaturgefälles weitgehend aus.

Zu 2.

Für die Hedentechnik ebenso wie für die Verfahren nach 3. und 4. benutzten wir eine Messingform in den passenden Abmessungen. Je drei Körper eines Materials ließen sich gleichzeitig darin polymerisieren. Da die einzelnen Formteile miteinander nur verschraubt waren, bereitete das Ausbetten und Säubern von Überständen keine Schwierigkeiten.

Zu 3.

Die vom Hersteller angegebene mögliche Kombination der Verfahren bestand darin, den für die Küvettenteknik vorgesehenen Teig innerhalb der Messingform im Extramat zu polymerisieren.

Zu 4.

Die Anwendung des Pyroplastverfahrens bedarf keiner besonderen Erläuterung. Wichtig war nur, die Metallform gegen direkte Wärmeleitung vom Heißluftschacht her durch einen isolierenden Träger zu schützen.

Im übrigen wurden die Fabrikate nach den Angaben der Hersteller in einem abgewogenen Verhältnis von Monomer zu Polymer verarbeitet, wie es im einzelnen aus einer gesonderten Tabelle im Anhang (S. 59 - 60) ersichtlich ist.

Anschließend wurden die Körper ausgearbeitet. Dazu schliffen wir ihre Vor- und Rückseite mit Schmirgelpapier in abgestufter Körnung völlig flach und eben und gestalteten sie dabei auch zueinander in jeder Hinsicht parallel. Eine Hochglanzpolitur nach dem üblichen Vorgehen bildete den Abschluß. Als unentbehrlich für diese Arbeitsgänge erwies sich ein kleines Hilfsmittel: Auf einer Grundplatte aus Glas wurden vier zugeschnittene Scheiben passender Dicke so aufgeklebt, daß sie in ihrer Mitte eine Aussparung einschlossen, die den genannten Abmessungen der Körper entsprach. In dieser Ausführung diente die Platte als Halterung und Schablone.

Daraufhin wurden die Körper für vier Monate bei  $38 \pm 2^\circ\text{C}$  in destilliertem Wasser aufbewahrt. Um Verformungen vorzubeugen, unterlegten wir ihnen eine ebene Glasplatte. Gewichtskontrollen in einwöchigen Abständen zeigten an, daß nach dieser Frist für alle Körper ein Zustand im Bereich der Sättigung eingetreten war.

Die Körper zur Bestimmung der Wasseraufnahme wurden nach denselben Gesichtspunkten und Verfahren hergestellt. Zweckmäßigerweise wählten wir kleinere Abmessungen (ca. 12 x 10 x 1,5 mm), die hier allerdings sehr genau einzuhalten waren, um grob unterschiedliche Diffusionswege zu vermeiden. Außerdem verzichteten wir auf Politur. Bevor diese Körper ins Wasser gelangten, wurde ihnen für eine Woche im Trockenschrank bei 50°C überschüssige Feuchtigkeit entzogen. Innerhalb des Lagergefäßes ruhten sie dann auf einem weitmaschigen Netz aus dünnster Kunstseide. Die Einwirkungsdauer des destillierten Wassers betrug 35 Tage. Zwischenkontrollen zeigten an, daß danach mit einiger Sicherheit ein sättigungsnaher Zustand eingetreten war.

Die Herstellung der Körper aus Degulor B folgte dem üblichen Weg. Sie wurden insgesamt materialschonender gewonnen, aber auf die gleiche Art ausgearbeitet.

### 3) Die verwendete "Abrasionsmaschine":

Als Abriebsmaschine übernahmen wir, von kleinen Änderungen abgesehen, eine Apparatur, die einst BAUER (3) nach Vorlagen von v. SAAL (52) hatte bauen lassen. Ihr Wesen bestand darin, daß mehrere Prüfkörper gleichzeitig unter beweglichen und beschwerten Armen rhythmisch hin und her bewegt wurden. Dazu ruhten die Körper unverrückbar in einem Rahmen, der seinerseits von einer Wanne auf fahrbarem Untergestell sicher aufgenommen wurde. Ein untersetzter Elektromotor übertrug den nötigen Antrieb mit Hilfe einer exzentergesteuerten Pleuelstange. Die drei auf gemeinsamer Achse befestigten

einarmigen Hebel trugen auf der Oberseite gleiche, durch Versuch ermittelte Gewichte und ihnen gegenüber auf der Unterseite Befestigungseinrichtungen, die die auf kleine Halterungen aufgeklebten Schmelze aufzunehmen gestatteten. Besondere Aufmerksamkeit schenkten wir der Neukonstruktion des erwähnten Rahmens. Im einzelnen wurden die Prüfkörper von unten gegen ihn als Schulter angepreßt und zur Seite hin durch je ein Widerlager an Stirn- und Seitenflächen in eine definierte Lage gebracht. Dadurch ließen sich, unbeeinflusst von Dicke und Abmessungenungenauigkeiten, die ebenen Flächen der Körper immer in der Bezugsebene des Rahmens halten und zum anderen bestimmte Befestigungswünsche erfüllen. Wir hatten nämlich vor, die Körper wiederholt ein- und auszuspannen, ohne ihre Beziehung zu den Schmelzen hierdurch zu verändern. Die Reibegeschwindigkeit begrenzten wir auf 70 Hin- und Herbewegungen je Minute. Eine Zählereinrichtung erleichterte es, gleiche Einwirkungsdauer einzuhalten.

In einem thermostatgesteuerten Wasserbad (GFL thermed 5001 electronic) heizten wir destilliertes Wasser auf Körpertemperatur und ließen es in einem geschlossenen Kreislauf durch die beschriebene Wanne fließen. Der Wasserstrom hatte zudem auch Reinigungsfunktion. Indem er die Körper ganz überspülte, schwemmte er losgelöste Teilchen davon.

## II. Methode

### 1) Die eigentliche Prüfmethode:

Die zuvor auferlegten methodischen Bedingungen erfüllten wir über zugespitzte Schmelzhöcker. Gleich-

zeitig wurden so auch günstige Voraussetzungen geschaffen, die mutmaßlich geringfügigen Rückwirkungen der Kunststoffe auf den Schmelz zu beobachten. Da diese sich bei den einzelnen Materialien aber nicht wesentlich unterscheiden durften ohne den Aussagewert zu gefährden, eigneten sich für eine solche Prüfanordnung nur Stoffe mit sehr ähnlichem Verhalten, am besten, wie dies bei uns vornehmlich der Fall war, Stoffe, die derselben Klasse angehörten.

Abschließend den Substanzverlust in den so entstandenen Furchen über Gewichtsunterschiede zu bestimmen, erwies sich als unzweckmäßig. Der Grund lag weniger in den kaum meßbaren Gewichtsabnahmen, als vielmehr darin, daß das uns auferlegte Prinzip der relativen Druckgleichheit hier besonders folgenswer mißachtet worden wäre.

An meßbaren Größen kamen nun die Furchentiefe sowie ihre Länge und Breite in Betracht.

Da die uns zur Verfügung stehende Apparatur kein Präzisionsinstrument darstellte, besaß von vornherein die Furchenlänge nur zweifelhaften Aussagewert. Um die eine oder andere der verbleibenden Größen zuverlässig ausnutzen zu können, mußten aus bekannten Gründen die reibenden Höcker normiert werden. Dabei sollte jedoch ein grobes Schema der natürlichen Form erhalten bleiben.

Am einfachsten erschien es uns, sie zu diesem Zweck kegelförmig zu beschleifen und dabei einen gut einzuhaltenden Kegelöffnungswinkel von angenähert  $90^{\circ}$  herzustellen.

Die Methodik der Abriebmessung mußte auf die der Erzeugung ausgerichtet sein. Bei den entstandenen sehr feinen räumlichen Mustern hieß dies, daß eigentlich nur noch der optische Weg offen blieb. Dazu bot sich ein geeignetes Auflicht-Meßmikroskop an.

Eine nach Vorversuchen aufgenommene graphische Darstellung (Diagramm 1, im Anhang S. 83) veranschaulicht den zeitlichen Verlauf von Furchentiefe und -breite. Um die Entwicklung beider Größen auf eine gemeinsame Vergleichsgrundlage beziehen zu können, wurde ihr jeweiliger Zuwachs in prozentualen Anteilen vom erreichten Endwert aufgetragen.

Zunächst fällt auf, daß beide Kurven nach einem kurzen, steilen Vorspann einen flachen Verlauf anstreben. Zur Erklärung dieses Verhaltens sei an den wiederholt genannten Druckabfall erinnert, dessen lockeres Korrelat hier der Breitenzuwachs ist. Somit wurde deutlich, daß sich Langzeitversuche bei dieser Methode erübrigten. Ferner ist nicht zu übersehen, daß sich die Furchenbreite ihrem Endwert rascher nähert als die Tiefe. Wir benötigten indes einen gewissen Bewegungs- und Meßspielraum. Hauptsächlich aus diesem Grund wählten wir hierauf den direkten Bezug auf die Tiefe als endgültige und alleinige Meßgröße.

Es stand nun zu erwarten, daß sich die Abriebseigenschaften der einzelnen Materialien in typischen Kurvenverläufen widerspiegeln würden. Diese Verläufe sollten die benötigte Grundlage darbieten, auf der sich unter Kompensation der eintretenden Druckveränderungen die geprüften Werkstoffe vergleichen ließen. Der Angelpunkt liegt darin, daß ein vom

Ursprung ausgehender, einheitlicher Zuwachs an Furchentiefe mit einem einheitlichen Druckabfall einher gehen muß. Gibt man also einen gemeinsamen Bezugspunkt für die Furchentiefe vor, so reduzieren sich die unterschiedlichen Druckverläufe auf konstante und somit eliminierbare Größen. Zur wahren Abhängigen wird dann die Zeitdauer, innerhalb derer die einzelnen Materialien die gewählte Tiefe erreichen. Dieser Verrechnungsart kam die gewählte, unkomplizierte Kegelform der Schmelzspitzen sehr entgegen, als sie, wie wir später sehen werden, zweckmäßige Darstellungsweisen erlaubte.

Unsere Methode war insofern also indirekt, als wir im experimentellen Teil umgekehrt zu festen Zeitabschnitten, gemessen in Bewegungszahlen, die zugehörigen Furchentiefen zu suchen hatten. Das geschah unter folgenden, gegenüber den Vorversuchen leicht verfeinerten Endbedingungen.

## 2) Die näheren Bedingungen:

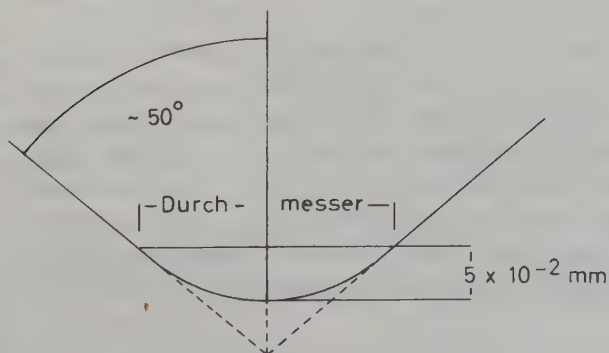
Die Schmelzkegel verloren bei gleichem Öffnungswinkel wie oben ihre ausgeprägte Verrundung und erhielten statt dessen eine bewußte Spitze. Nicht zuletzt bedingt durch die Körnung der Schleifscheibe und den Aufbau des Schmelzes, die Übertreibungen in dieser Hinsicht nicht zuließen, waren so wesentlich leichter ähnliche Verhältnisse zu schaffen.

In der Regel besaßen die Spitzen danach noch ein stark aufgerauhtes und scharf gegen die Kegelwände abgesetztes Plateau. Eine behutsame Politur, die solche Vorsprünge einebnete, erwies sich als unentbehrlich. Sie verhinderte nämlich eine Erscheinung,

die wir als "Fressen" bezeichnen wollen und unter anderem zur frühzeitigen Zerstörung der Furchenflanken beitrug.

Um ausreichende Streusicherheit besorgt, unterzogen wir innerhalb einer nicht zu knappen Anzahl von 18 Einzelanfertigungen je Material im Schnitt jede dritte Spitze einer optischen Kontrolle. Als Richtmaß diente dabei das mikroskopische Bild einer vollständigen Serie, die für den Einsatz gegen Harz E vorgesehen war.

Hiernach hatten die Schmelze, bedingt durch die Politur, genau genommen die Gestalt von Koni, die sich im Winkel zwischen  $90^\circ$  bis  $110^\circ$  öffneten. Da wir deren Verrundungsradius nicht ausmessen konnten, behielten wir uns so, daß wir, 0,05 mm vom höchsten Punkt der Spitze entfernt, jeweils längs und quer zur späteren Reiberichtung, einheitlich den Durchmesser bestimmten. Als mittlerer Wert aus 18 Spitzen belief er sich so bei der genannten Serie auf  $23,57 \times 10^{-2}$  mm. Zeichnerisch wiedergegeben lagen die Verhältnisse dann etwa folgendermaßen:



Es versteht sich im übrigen von selbst, daß die Schmelze angesichts ihrer Eigenabnutzung nur einmal eingesetzt und sodann wieder nachgearbeitet wurden.

Reibedauer und Auflagekraft wurden auf die beschriebenen Schmelzverhältnisse angepaßt. Da sie eine untrennbare Wirkungsgemeinschaft bildeten, seien sie auch in dieser Abhängigkeit betrachtet. Allgemein galt es, die Furchen möglichst seicht zu halten. Störeinflüsse wuchsen nämlich mit zunehmender Eindringtiefe der Schmelzspitzen und verlängerter Reibedauer.

Bei der Bemessung der Auflagekraft kam es darauf an, daß für niedrige Bewegungszahlen ein noch angängiges Verhältnis von Meßwert/Ablesefehler vorlag. Diese Orientierung geschah zweckmäßigerweise an abriebfesteren Materialien.

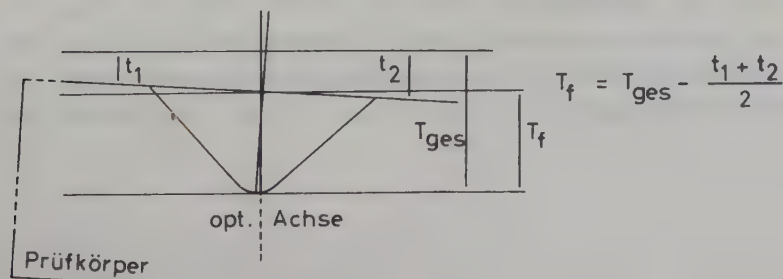
Die Reibedauer ihrerseits war soweit zu strecken, daß mehrere aufeinanderfolgende Tiefenmessungen in ausreichendem Abstand vorgenommen werden konnten. Dabei sollte aber eine obere Grenze nicht überschritten werden. Es trat sonst häufig ein neuerlicher, unvermutet hoher Tiefenzuwachs ein, den wir nicht anders als auf folgende Weise erklären können. Sowie sich im Sinne des Abriebs die Berührungsflächen vergrößerten, verschob sich das Abtragungsgeschehen zunehmend vom Furchenboden auf die sich bildenden Flanken. Diese schon mehrfach besprochene Belastungsverlagerung war dann als Störgröße nicht mehr auszugleichen, wenn sie sich wieder umkehrte. Das konnte geschehen, sobald im Bereich minimaler Tiefenzuwachsrates

durch überwiegenden Flankenabrieb plötzlich die seitliche Abstützung verloren ging und der Druck daraufhin wieder anstieg. Diese Wirkung wurde allgemein nicht durch den eintretenden Schmelzeigenabrieb kompensiert.

Unter diesen Gesichtspunkten bemaßen wir die Auflagekraft auf knapp 1 700 g je Prüfkörper und unterteilten die Gesamtreibedauer von 1 000 Hin- und Herbewegungen in einzelne Meßstufen nach 100, 250 und 500 vollständigen Bewegungsabläufen.

### 3) Die Meßmethode:

Beim Ausmessen der Furchentiefe gingen wir zunächst davon aus, daß die Furchenauslaufbereiche unter veränderten Einflüssen standen, wie etwa dem einer niedrigeren Reibegeschwindigkeit (bedingt durch die Exzenterführung des Schlittens). Da sich die durchschnittliche Furchenlänge um nur 4 mm bewegte, schien es angeraten, unter dem Mikroskop zunächst die Furchenmitte zu errechnen. In diesem Bereich stellten wir dann entlang des Fadenkreuzes einmal auf den Furchenrand und zum anderen in gleichem, geringen Abstand vom Furchenrand entfernt auf jeweils größte Abbildungsschärfe ein. Der Differenzbetrag entsprach dann der gesuchten Tiefe. Es versteht sich von selbst, daß die Körper auf die optische Achse eingerichtet und verbleibende kleinste Höhendifferenzen zwischen den Außenpunkten verrechnet wurden, wie es übertrieben gezeichnet folgende Skizze zum Ausdruck bringt:



Zweckmäßigerweise stellten wir die Meßuhr mit einer Stricheinteilung in  $10^{-2}$  mm auf  $T_{\text{ges}} = 0$  ein und erhielten so direkt unser (negatives)  $T_f$ .

Nicht zuletzt in Anbetracht der bei der Prüfkörperherstellung verwendeten Sorgfalt gingen wir allerdings davon aus, daß das ausgeschliffene Material ursprünglich bis zur Verbindungsgeraden der äußeren Meßpunkte reichte.

Als optisches Gerät diente ein mit empfindlichen Meßuhren ausgestattetes Leitz "Aristophot"-Mikroskop, das wahlweise für die Auflichttechnik zu verwenden war. Wir bestückten es mit einem 6,5-fachen Ultropakobjektiv und einem 25-fachen Periplanokular mit Fadenzkreuz.

Bei einer numerischen Apertur  $A$  des Objektivs von 0,18 und einer Gesamtvergrößerung  $B'$  von 162,5 lag die mathematisch bestimmbare Schärfentiefe  $T$  nach folgender Formel (aus APPELT, 1)

$$T = \frac{1}{14} \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B'} \times \left( 1 + \frac{1}{B'} \right) \text{ mm}$$

bei  $T = 2,43 \mu$ .

Der subjektiv ausnutzbare Schärfentiefenbereich lag allerdings bei unseren Meßobjekten nur wenig unter  $\pm 5 \mu$  im Durchschnitt. In Grenzfällen konnte er auch knapp auf das doppelte ansteigen (vgl. dazu auch die Werte von REITHER, 47, der mit demselben Gerät arbeitete und als Extremwerte bei 20 Messungen  $\pm 9 \mu$  erhielt). Sorgfältige und wiederholte Messungen waren daher angezeigt.

## D. AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE

### I. Merkmale im Abriebverhalten der einzelnen

#### Kunstharze

Im folgenden wollen wir uns auf einige graphische Darstellungen stützen, die, geschlossen und in gleicher Reihenfolge, im Anhang nachzuschlagen sind.

Einen ersten Überblick über den Abriebsverlauf der untersuchten Verblendkunststoffe vermittelt Diagramm 2 (S. 84). Die Ordinatenwerte beziehen sich auf die Furchentiefe, die Abszisse ist in die Beweigungsstufen unterteilt. Was die Darstellungen im einzelnen anbetrifft, schien es sinnvoll, jeweils noch die mittleren Abweichungen vom Mittelwert ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ) anzugeben. Diese überlappen sich in zwei Fällen gänzlich bzw. überwiegend. Einen gesicherten, eigenständigen Verlauf wird man daher den betroffenen Paaren, Biodent K - Biodent KH sowie Luxene - Palaferm kaum zusprechen können. Ferner wurde darauf verzichtet, die aufsteigenden Kurvenäste wiederzugeben. Sie sind weniger typisch und unterscheiden sich vor allem durch ihre Länge. Aus dieser Übersicht geht hervor, daß eine Kurve hauptsächlich durch zwei Merkmale gekennzeichnet ist,

- den Ordinatenabschnitt, in dem sich die Ausgangstiefe bewegt und
- die Anstiegssteilheit.

Daraus läßt sich schon jetzt ableiten, daß die Kurven abriebfesterer Stoffe in tieferen Achsenabschnitten beginnen, und zudem auch niedrigere Anstiegssteilheit entfalten.

Ganz offensichtlich trifft das für Material E zu, weniger deutlich noch für Pyroplast. Wie die Kombination dieser Kriterien bei den übrigen Werkstoffen ausfällt, soll eine spätere Betrachtungsweise noch näher zu beleuchten helfen.

In einer weiteren Darstellung (Diagramm 3, Anhang S. 85) werden die Kurven rein schematisch auf zwei gegeneinander abgewinkelte Geraden reduziert, die durch drei Punkte gehen, den Ursprung sowie die Bewegungsstufen 100 und 1 000.

Der Zweck liegt darin, das Verhältnis der Kurvenäste, die im mutmaßlichen Knickbereich um 100 Bewegungen geteilt werden, in Längenteilen zu erfassen und außerdem den Grad der Abknickung zu verdeutlichen. Als weitere Charakteristika erweisen sich nun ergänzend zu den schon genannten, daß

- abriebfestere Kunstharze einen vergleichsweise kurzen aufsteigenden und dafür längeren Endast haben und daß
- die eingeschlossenen Winkel kleiner sind.

Zur Deutung dieses Verhaltens ließe sich von der Annahme ausgehen, daß die aufsteigenden Äste eine unterschiedliche Anpassung an die Reibdrucke widerspiegeln. Mit zunehmender Furchentiefe wächst ja entsprechend den geometrischen Verhältnissen auch die stützende Fläche. Die einzelnen Harze lassen im Sinne des Abriebs solange einen schnellen Zuwachs zu, bis für jedes Material ein bestimmter Druckabfall erreicht ist. Von hier ab werden allmählich, an verminderter Tiefenzunahme erkennbar,

die anfangs stark überwiegenden Bruchvorgänge durch andere Mechanismen wie elastische Verformung abgelöst.

Eine gesonderte Darstellung (Diagramm 4, Anhang S. 86) soll nun einen Eindruck über die Tiefenzuwachsrates der Furchen vermitteln. Die auf den ersten Meßwert bei 100 Bewegungen bezogene prozentuale Zunahme wollen wir kurz als Steigung bezeichnen. Um die Verhältnisse einfacher gestalten zu können, rückten wir außerdem von der bisherigen, rein linearen Darstellungsweise ab und wählten für die Bewegungszahl eine logarithmische Unterteilung. Es zeigte sich nämlich, daß sich danach die Kurvenpunkte in den meisten Fällen recht brauchbar durch Geraden verbinden ließen, selbst, wenn diese, wie hier, alle durch einen gemeinsamen Ursprung gehen sollten.

Im einzelnen wird noch einmal deutlich, daß Harz E die weitaus kleinste Steigung besitzt. Umgekehrt ragen die SR-Kunststoffe durch Höchstwerte hervor. Dazwischen befindet sich, scherenartig eingeklammert, ein dicht gedrängtes Mittelfeld. Seine Vertreter können natürlich untereinander keinen eigenständigen Verlauf für sich beanspruchen, da, wie schon veranschaulicht, bereits der Rohverlauf der vorgestellten Kurven leicht variabel ist.

Die einzelnen Befunde leiten auf folgende Schlüsse:

1. Bei abriebfesteren Stoffen wie Harz E und Pyroplast verbindet sich in unterschiedlicher Deutlichkeit niedrige anfängliche Furchentiefe mit geringer bis mittlerer Tiefenzuwachsrates.

2. Eine Umkehrung dessen trifft nicht zu. Luxene und Palaferm weisen die größte Furchentiefe auf, ohne indes herausragende Steigung zu besitzen. Noch ungleichsinniger ist die Beziehung beider Kriterien bei den SR-Materialien. Hier, insbesondere bei SR-K, klaffen Wert für Ausgangstiefe und Grad der Anstiegssteilheit weit auseinander.

Wir sehen also, daß diese wichtigen Verhaltensgrößen ganz unterschiedlich miteinander verbunden sein können. Zweifellos stellt aber die Vereinigung von geringer Ausgangstiefe mit kleiner Zuwachsrates einen wünschenswerten Zustand dar.

Aus dem betrachteten Diagramm geht weiterhin deutlich hervor, daß sehr ähnliche Stoffe, wie die Biodent-Verarbeitungsvarianten einerseits und ihre Entsprechungen aus SR-Kunststoff andererseits, ebenso ähnliche Verhaltens- oder, wie wir fast sagen möchten, Reaktionsweisen haben.

Damit meinen wir die jeweils sehr verwandten Steigungseigenschaften, die die im Küvetten- und Hedentverfahren gewonnenen Harze bei unterschiedlicher Furchentiefe dennoch besitzen. Angesichts jeweils gleicher polymerer Anteile ist das sicher kein Zufall.

## II. Gesichtspunkte zur Abstufung

Als Grundlage des engeren Materialvergleichs dienen die schon bekannten Abrasionsverhältnisse der einzelnen Harze in zweckdienlicher graphischer Darbietung. (Diagramm 5, Anhang S. 87 zusammen mit dem erst später interessierenden Diagramm 10, Anhang S. 92 ). Es genügte, die lineare Auftragung der Bewegungsstufen auf der Abszisse zu verlassen und dafür wiederum eine logarithmische Unterteilung einzuführen. Die aus Diagramm 2 (Anhang S. 84 ) bekannten Abriebskurven ließen sich so bequem auf Mittelwertsgeraden reduzieren. Ein wesentlicher Vorteil dieser Darstellungsweise liegt darin, daß so auch Koordinatenpunkte außerhalb des eigentlichen, engen Meßbereiches zu erhalten sind. Wie wir ja schon ausführten, werden Messungen jenseits der gewählten Bewegungszahlen durch verschiedene Störgrößen häufig. Nichts verbietet es uns aber, durch gedankliche Abstrahierung ihrer Einflüsse den Verlauf auf der Grundlage der vorhandenen Geraden zu vervollständigen, wenn dies sinnvoll ist.

Auf die Anwendung bezogen hieß das, daß wir den Geradenverlauf von Material E geringfügig unter den unteren Meßpunkt (Diagramm 10) und beträchtlich über seine obere Meßgrenze hinaus verlängert haben (Diagramm 5).

Dabei gingen wir davon aus, daß ersteres solange unkritisch bleibt, wie nicht bei sehr niedriger Bewegungszahl doch eine Abknickung eintritt. Was das Überschreiten der oberen Meßgrenze angeht, so könnten wir uns, bei erhaltenen "Konusbedingungen"

selbstverständlich, allenfalls eine weitere Abflachung dieses Astes vorstellen, das heißt, eine quasi bleibende Endtiefe in der Nähe eines Gleichgewichtszustandes. Das würde aber dann bedeuten, daß das Harz E in den folgenden Diagrammen eher ungünstiger als zu gut eingestuft würde.

Wie wir an früherer Stelle schon ankündigten, sollen die einzelnen Werkstoffe an der für eine bestimmte Reibetiefe notwendigen Bewegungszahl gemessen werden. Da sich nun die einzelnen Materialgeraden sowohl nach ihrer Herkunft als auch in der Steigung unterscheiden, sind sie in keinem bleibenden, festen Verhältnis einzustufen. Beurteilungen sind ausschließlich auf der Grundlage eines jeweils gewählten Ordinatenabschnittes möglich. Namentlich Stoffe mit stark divergierender Steigung entfernen sich mit zunehmender Reibetiefe zusehends weiter voneinander. Dies gilt insbesondere für das Harz E in Bezug auf alle anderen.

Die Darstellungsweise erlaubt es so, die Wirkung des Zeitfaktors einzuschätzen. Er tritt mit fortschreitender Furchentiefe immer stärker hervor und deckt die Entwicklungstendenzen anfänglich kleinerer Unterschiede auf. Angesichts der Tatsache, daß auch in vivo zunächst meist punktförmige Kontakte bestehen, die sich unter Höhenverlust verbreitern, glauben wir, daß dies nicht nebensächlich ist.

In den Diagrammen 6 bis 8 (Anhang S. 88 - 90) haben wir die Verhältnisse jeweils bei einer Furchentiefe von 13, 16 und  $17 \times 10^{-2}$  mm dargestellt. Dabei korreliert entsprechend unserem Vorgehen die Höhe

einer Säule mit dem zugehörigen Maß an Abriebfestigkeit. Zum Zweck einer sinnvollen Relativierung innerhalb der Methode wurden auch hier die Standardabweichungen der Mittelwerte berücksichtigt. Sie waren auf entsprechende Weise über die geradlinige Verbindung der jeweils eingetragenen Grenzwerte zu erhalten.

Im Schnitt bei  $13 \times 10^{-2}$  mm sind Palaferm-Luxene sowie die Biodent-Gruppe nicht mehr zu erfassen. Umgekehrt gerät bei einer Tiefe von  $17 \times 10^{-2}$  mm Harz E aus dem Blickfeld.

### III. Ergebnisse eines Kontrollversuchs

In neun Durchgängen beobachteten wir Harz E im Abrieb gegen angefertigte Stahlspitzen. Dies hatte zum Zweck, mögliche Einflüsse der Schmelzverwendung, ausgehend etwa von Spitzenbeschaffenheit und allmählicher Abnutzung, herauszulesen.

Erwartungsgemäß vergrößerte sich die Steigung. Daß dies aber nur in recht beschränktem Maße eintrat, dürfte auf die immerhin vorhandene Abnutzung selbst der Stähle zurückzuführen sein (vgl. dazu auch MEYER, 36). Ferner können dies auch andere, weniger veränderliche Größen wie Öffnungswinkel und Flankenabstützung mitbewirkt haben. Ähnlich geringfügig sind die Unterschiede im Rohverlauf der beiden Geraden.

Stellt man in Rechnung, daß bei dieser Orientierung nur die Hälfte der üblichen Messungen vorlag, dazu eine im Mittel leicht vergrößerte Stahlspitze ( $23,75 \times 10^{-2}$  mm gegenüber  $23,57 \times 10^{-2}$  mm), so läßt sich annehmen, daß Spitzenbeschaffenheit und Grad

der Eigenabnutzung unter den gewählten Versuchsbedingungen ohne wesentlichen Einfluß blieben. Zur Veranschaulichung sei auf Diagramm 9 (Anhang S. 91) verwiesen.

#### IV. Die Einstufung einer Goldlegierung

Für den exemplarischen Vergleich eines abriebfesteren Verblendkunststoffes mit einer mäßig weichen Goldlegierung zogen wir Harz E heran. Da das verwendete Degulor B die Schmelzspitzen weitaus höher beanspruchte, war ohne den Einsatz der schon bekannten Stahlspitzen die nötige Vergleichsgrundlage nicht einzuhalten. Die im vorausgehenden Abschnitt gewonnene Einsicht erlaubte es aber, im Falle des Harzes mit tragbaren Einbußen die schmelzbezogenen Abriebswerte beizubehalten.

Bei der Prüfung des metallenen Werkstoffes unter den üblichen Bedingungen waren nun abweichende Wirkungsmechanismen nicht sicher auszuschließen. Um denkbare Verfälschungen indes klein zu halten, setzten wir die Gesamtreibedauer auf ein Mindestmaß von 250 Bewegungen herab. Die Furchentiefe erreichte dabei in den metallenen Prüfkörpern einen mittleren Wert von  $10,67 \times 10^{-2}$  mm. Wie aus Diagramm 10 (Anhang S. 92) hervorgeht, sind dazu bei dem gewählten Kunststoff nur etwa 83 Bewegungen nötig.

Läßt man die angegebenen mittleren Abweichungen vom Mittelwert außer Acht, so entspräche dem Abnutzungsverhältnis von Degulor B zu Harz E ein Wert von ungefähr 1 : 3. Es sei indes daran erinnert, daß ein einzelner Meßpunkt im Sinne unserer Methode eine gültige Einordnung nicht erlaubt.

Die getroffene Eingrenzung ließe sich als Orientierungsmarke aber dennoch gut verwenden, wenn als weiterer Anhaltspunkt die Steigungstendenz jener Legierung bekannt wäre. Wir sehen eine Möglichkeit, sie gedanklich abzuschätzen.

UETZ und FÖHL (64) führen aus, daß die bei jedem Gleitvorgang aufzuwendende Energie in elastische und plastische Verformung sowie Bruchenergie und Anteile für energieabsorbierende Sekundärprozesse umgewandelt wird.

Mit einer Einschränkung, die sich auf das Schicksal plastischer Verformung bezieht, machen wir uns diesen Sachverhalt zu eigen.

Bezogen auf die Anstiegssteilheit leiten wir daraus ab, daß sie bei überwiegendem Bruch steiler und bei mehr elastischer Verformung flacher ausfallen muß. Demnach sollte sich die fragliche Tendenz leicht finden lassen, wenn in den elastischen Eigenschaften klare Unterschiede bestehen. Das ist hier zweifelsfrei der Fall.

Im Vergleich zu Kunstharzen, deren hohe Elastizität ja als eine ihrer herausragenden Eigenschaften gilt, sind weiche Goldlegierungen plastisch. Es sei in diesem Zusammenhang auf gegensätzliches Verhalten bei Härtemessungen verwiesen (31) sowie auf eine von PILZ (44) beschriebene Randwulstbildung, die bei weichen Golden auftrat.

Plastische Verformung indes zieht bei uns, abgesehen von den Rillenenden und -flanken, sofort Abscherung nach sich, die ihrerseits in Bruch einmündet.

Es besteht somit kein Grund, an einer im Vergleich zu Harz E größeren Steigungstendenz zu zweifeln. Dieses theoretische Ergebnis steht in vollem Einklang mit hier nicht veröffentlichten orientierenden Meßbefunden. Nachdem dies entschieden ist, läßt sich das ermittelte Abriebverhältnis zwischen beiden Stoffen in die schon bekannten Abstufungen einordnen. Da die Tendenzen von Harz E und Degulor B konvergieren, scheint dieser Kunststoff somit im Punkte seines Eigenabriebs einer weicheren Goldlegierung näherzuliegen als den meisten seiner übrigen Klassenvertreter.

#### V. Abriebsspuren am Schmelz

Beim Substanzverlust am Schmelz gilt es, zwei Erscheinungen zu trennen:

1. Abbröckeln an eventuell vorgegebenen Bruchgrenzen, als unspezifische Antwort auf den Schmelzeinsatz überhaupt,
2. Substanzverlust unabhängig davon. Es weist in diesem Fall ein ganzer Gefügeabschnitt einen einheitlichen Schliff auf, der als solcher auszumessen ist.

Wir haben durchaus Anhaltspunkte dafür, daß im Sinne von Punkt 2 ein echter Schmelzabschliff gegenüber Kunststoffen stattgefunden hat. Die nähere mikroskopische Untersuchung und Ausmessung der entstandenen Spuren nahmen wir stellvertretend nur nach dem Einsatz gegen den Kunststoff E vor. Zwar zeigten die Substanzverluste, wie erwartet, keine offensichtlichen Abweichungen, die auf unterschiedliche Beanspruchung hingewiesen hätten. Für den Fall aber, daß letztere dennoch, von uns unbemerkt, bestanden

haben, dürfte der Verschleiß gegenüber diesem Harz am ehesten sichtbar aufgetreten sein.

Unsere im Anhang (S. 75) aufgeführten Messungen lassen im einzelnen erkennen, daß die zu Beginn im Durchschnitt annähernd runden, konischen Schmelzspitzen im Verlauf und in Richtung der Abriebbewegungen eine längliche, abgeplattete Form annahmen. Von 18 Spitzen behielten nur 2 eine konische Form bei, die allerdings, erkennbar an dem hohen Durchmesser, hart an der Grenze zur Abplattung stand. Anders lagen die Verhältnisse, die quer zur Reiberichtung entstanden. In 10 Fällen schliffen sich neue Koni ein, die, von einem Grenzfall abgesehen, im Durchschnitt kaum größer als die ursprünglichen waren. Die restlichen 8 Schmelze zeigten dagegen gleichfalls Abplattungen, die in 6 Fällen gleich lang oder kürzer als die Abplattungen in Längsrichtung waren. Eine deutliche Spitzenverkürzung fügte sich zu diesen Befunden.

Es läßt sich so als Tendenz ein Einschleifvorgang rekonstruieren, unter dem es nach vorwiegendem Flankenbeschleiß und gleichzeitigem Höhenabbau zu einer in Reiberichtung längsovalen Spitzenverformung kam.

Zum Vergleich ermittelten wir auch den Schmelzverlust, der beim Abrieb gegen Degulor B aufkam. Der höhere Anteil der Bruchkomponente, den wir ja für diese Legierung annahmen, teilte sich offenbar den Schmelzen mit.

In Vorversuchen wurde deutlich, daß es wenig sinnvoll war, 100 Bewegungen zu überschreiten. Der Höhenverlust betrug danach schon knapp  $9 \times 10^{-2}$  mm. Unter diesen Bedingungen war auch kein einheitlicher Ein-

schleifvorgang zu erwarten. Es überwog bei weitem der unspezifische Substanzverlust im Sinne von Punkt 1 der vorgenommenen Unterteilung. Der Eigenabrieb von Degulor B lag bei  $3,83 \times 10^{-2}$  mm. Aufgrund des hohen Schmelzverlustes ließ sich dieser Wert, wie gesagt, nicht auf die Verhältnisse bei Kunststoffen beziehen.

VI. Verschleißfesterer Kunststoff und mäßig weiche Goldlegierung in ihrem Abriebverhältnis zu natürlichem Schmelz

Zu aufschlußreicherer Betrachtung lassen sich die vorgetragenen Befunde allerdings ausnutzen, wenn die auf Höhenabbau und Furchentiefe bezogenen Verlustwerte zueinander in ein geeignetes Verhältnis gesetzt werden. Die so erhaltenen jeweiligen Verlustanteile erlauben ihrerseits Rückschlüsse auf die Eigenabrasivität der geprüften Stoffe.

Im folgenden sei versucht, die Verhältnisse für die Reibepaare Schmelz-Harz E sowie Schmelz-Degulor B anzuvisieren.

Wir gehen von folgenden Überlegungen aus:

1. Trotz der unterschiedlichen Reibedauer, die beim Paar Schmelz/Degulor B mit 100 Bewegungsabläufen nur  $\frac{1}{10}$  der üblichen Anzahl betrug, lassen sich die erfaßten Meßergebnisse paarweise vergleichen. Wir sind nämlich der Ansicht, daß die Bewegungsdauer wohl auf die Absolutwerte des Abriebs, nicht aber auf die Verlustverhältnisse der Antagonisten Einfluß nimmt.

2. Da die Abriebsverluste vom Reibeweg abhängen, müssen die Höhenverluste der Schmelzantagonisten auf das stark verschiedene Weglängenverhältnis bezogen werden, das jeweils zwischen der punktförmigen Schmelzspitze und der langgezogenen Furche bestand. Meßgrößen sind die Endausdehnungen der Furchen sowie die Endlängen der auf den Schmelzspitzen entstandenen Abplattungen. Ihr Quotient liefert den Korrekturfaktor  $K$ . Der Quotient aus dem tatsächlich gemessenen Schmelzhöhenverlust und  $K$  stellt nun den angemessen berichtigten Vergleichswert dar. Er kann auf die Furchentiefe bezogen werden.

Dabei muß aber klar sein, daß diese Rechnung systematische Fehler enthält.

1. Abgesehen von kleineren Vernachlässigungen ist es übertrieben, der Berechnung von  $K$  die Endlängen insbesondere der entstandenen Spitzenabplattungen zu Grunde zu legen. Da aber wegen der anfangs vorliegenden Koni die Länge der Auflage schwer zu ermitteln war und außerdem der zeit- und druckabhängige Zuwachs mit Sicherheit nicht linear verlief, wäre die Berechnung eines mittleren Auflagewertes äußerst problematisch gewesen. Dieser Fehler wirkte sich naturgemäß bei der Berechnung des Schmelzverlustes gegen das verwendete Gold weit stärker aus und täuschte ein im Verhältnis größeres Ausmaß vor.

Überschlägige Berechnung der Verlustanteile von  
Schmelz gegen

|                                                           | Harz E                         | und | Degulor B                     |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-------------------------------|
| Ritzlänge                                                 | 410,8<br>$\times 10^{-2}$ mm   |     | 417,2<br>$\times 10^{-2}$ mm  |
| Schmelz-<br>abplattung<br>längs                           | 15,69<br>$\times 10^{-2}$ mm   |     | 34<br>$\times 10^{-2}$ mm     |
| Weglängen-<br>verhältnis<br>( K )                         | 26,18 : 1                      |     | 12,27 : 1                     |
| gemessener<br>Schmelzhöhen-<br>verlust                    | 3,22<br>$\times 10^{-2}$ mm    |     | 8,83<br>$\times 10^{-2}$ mm   |
| korrigierter<br>Höhenverlust                              | 0,12<br>$\times 10^{-2}$ mm    |     | 0,72<br>$\times 10^{-2}$ mm   |
| Furchentiefe                                              | 13,56<br>$\times 10^{-2}$ mm   |     | 3,83<br>$\times 10^{-2}$ mm   |
| korrigierter<br>Schmelzhöhen-<br>verlust:<br>Furchentiefe | $\frac{1}{113}$                |     | $\frac{1}{5,32}$              |
| korrigierter<br>Gesamthöhen-<br>verlust                   | 13,68<br>$\times 10^{-2}$ mm   |     | 4,55<br>$\times 10^{-2}$ mm   |
| prozentuale<br>Anteile                                    | $\frac{0,88}{99,12} \%$        |     | $\frac{15,82}{84,18} \%$      |
| bei einer<br>Reibedauer von                               | 1000<br>Bewegungsab-<br>läufen |     | 100<br>Bewegungsab-<br>läufen |

2. Außerdem sei noch betont, daß sich die so veranschlagten Verhältnisse primär nur auf den ein-dimensionalen Höhenabbau und Tiefengewinn beziehen. Wenngleich auch wohl die Einschleifvorgänge zueinander weitgehend komplementär verliefen, darf hierbei nicht übersehen werden, daß sich formbedingt die begleitenden Scherwirkungen an Spitzen und Furchen unterscheiden mußten. Gerade in diesem Zusammenhang sei noch einmal an die Natur des von uns beobachteten Schmelzverlustes gegenüber Degulor B erinnert.

Werden aber zusätzlich die Schmelzwerte geringer veranschlagt als berechnet, so lassen sich die Verhältnisse zumindest als orientierende Grundlage auf den Abrieb übertragen.

Insgesamt heißt dies, daß der ohnehin minimale Schmelzabrieb von knapp 1 % gegen Kunststoff hauptsächlich nach Punkt 2 noch etwas niedriger zu liegen kommt. Praktisch bliebe also ein normaler Schmelzantagonist unter diesen Belastungsbedingungen selbst gegen solcherart verschleißfesteren Kunststoff so gut wie frei von Eigenabrieb.

Für das Abriebverhältnis Schmelz-Degulor B folgt aus allem, daß die errechneten Anhaltswerte von knapp 16 % Schmelzverlust zu 84 % Goldverlust als oberste Grenze eines gegen diesen Bereich gelegenen Spielraumes anzusehen sind. In Wirklichkeit liegt der Schmelzverlust darunter.

So gesehen fügt sich unser Ergebnis in die Mitte einer Reihe schwankender Befunde ein, die teils aus klinischer Erfahrung (38), teils auf experimenteller Grundlage (3, 44, 39), gemacht wurden.

## E. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die einzelnen Standorte der Abriebfestigkeit nehmen in ihrer Gesamtheit einen beachtlich breiten Intervall ein, der bis in die Nähe einer mittelweichen Goldlegierung reicht.

Andererseits ist auch deutlich geworden, daß es an einer echten, gleichmäßigen Auffächerung fehlte. Zutreffender scheint es uns daher, doch von überwiegend enger Zusammenballung zu sprechen, die nur durch einen Außenseiter durchbrochen und verschleiert wird.

Mit seinen bemerkenswerten Abriebseigenschaften übertrifft das neue, erstmalig von uns geprüfte Harz E die gestellte Erwartung.

Wie uns der Hersteller mitteilte, liegt das Grundgerüst der sogenannten Bowenformel leicht verändert vor. Durch einen abweichenden Syntheseweg konnte der Einbau einer hydrophilen OH-Gruppe umgangen werden. Es resultiert daneben eine relativ niedrige Wasseraufnahme. Nach 35 Tagen betrug der flüssigkeitsbedingte Gewichtszuwachs rund 1,45 % vom Trockengewicht. Das Harz steht damit zwar weit hinter Luxene zurück, befindet sich aber dennoch hinter Pyroplast in vergleichsweise guter Lage.

Da dieser Kunststoff auch anorganischen Füllstoff enthält, steht er seinem Aufbau nach in gewisser Nähe zu vielen Composite-Füllkunststoffen. Gegenüber unverstärkten Akrylaten schneiden solche Materialien in einer Reihe von Beanspruchungsarten zum

Teil erheblich besser ab (43). Das gilt für Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Härte. Ferner besitzen sie ein größeres Elastizitätsmodul und sind damit weniger leicht elastisch verformbar.

Mit Einschränkungen mag dies als Erklärungsversuch für die herausragenden Abriebseigenschaften gelten.

Die vorgetragene Gegenüberstellung trifft abgesehen von Luxene noch am wenigsten auf Pyroplast zu.

Es stellt eine Komposition dar, die sich nach Auskunft des Herstellers nur zu einem Teil in Form des Polymeren auf reines PMMA stützt. Die schon in anderen Versuchen nachgewiesene größere Abriebfestigkeit verdankt dieses Fabrikat einem "hohen Vernetzerzusatz" (2). Dies bezieht sich auf den monomeren Anteil im ganzen, der als solcher auf der Grundlage einer geänderten Bowenformel aufgebaut ist.

Die aufgetretenen Unterschiede zu Harz E mögen in erster Linie auf Art und Anteil dieser Komponente und in verringertem Maße auf den fehlenden Füllstoff zurückgehen.

Interessant ist hier eine Beurteilung des ohne Verdichtung arbeitenden Pyroplast-Verfahrens aus dem Jahre 1970 von K. EICHNER (10).

"Auf die Anwendung von Druck bei der Polymerisation kann nicht verzichtet werden". Trotz Vakuumbehandlung des Kunststoffteiges, die heutzutage entfällt, waren bei mikroskopischer Betrachtung von Dünnschliffen vergleichsweise zahlreiche Hohlräume zu erkennen.

Daß dieser Herstellungsweg zumindest noch nicht ganz geeignet ist, entspringt auch unserer eigenen Erfahrung. Während der üblichen Nachbearbeitung traten deutlich sichtbar Hohlräume (Bläschen) vor allem im Randbereich der Körper auf. Einschränkend soll aber hinzugefügt werden, daß der Teig nicht, wie vorgeschrieben, aufgepinselt, sondern in kleinen Portionen in die Form eingefüllt wurde.

Wenn nun dessen ungeachtet dieser Kunststoff vergleichsweise gute Abriebseigenschaften und recht befriedigende Werte für die Wasseraufnahme aufweist, spricht das umso mehr für das verwendete Rohmaterial.

Zum Schluß sei noch auf Ergebnisse von Härtemessungen hingewiesen.

Mit einem neueren Verfahren nach MÜLLER und MARX (31) kann die Eindringtiefe eines Diamanten ohne den Störeinfluß elastischer Rückstellung direkt gemessen werden.

SCHWALB (zit. nach MARX, 32), der dieses Verfahren anwandte, ermittelte bei drei Kronen je Material für Pyroplast durchschnittlich niedrigere Werte als für Biodent K+B-Kunststoffe. Das steht in gewissem Widerspruch zu unseren Abriebsergebnissen, insofern, als wir ja stark druckbetonend vorgehen.

Nun macht allerdings der Autor auf große Streuungen aufmerksam. Gegenüber zwei Kronen mit mäßiger Härte hob sich die dritte durch einen deutlich höheren Wert ab. Diese Erscheinung hat einen Bezug zu einer von uns selbst gemachten Beobachtung.

Die Oberfläche auspolymerisierter Prüflinge blieb klebrig, leicht eindrückbar und war somit von fragwürdiger Qualität. Die oberen, minderwertigen Schichten fielen dann jedoch der gemeinhin vorgenommenen Nachbearbeitung zum Opfer, so daß schließlich nur der harte Kern dem Abrieb ausgesetzt wurde.

Pyroplast kann demnach als Material gelten, das zu guten Ergebnissen führt, wenn die Schwachpunkte des Verfahrens erkannt und durch Bearbeitungsmaßnahmen ausgeglichen werden.

Soweit es Abriebfestigkeit und Wasseraufnahme betrifft, können wir mit Luxene K+B-Material die allgemeine Bewertung der Vinylacrylate nachvollziehen.

Es schließt sich etwa ranggleich mit Palaferm an die Gruppe der PMMA an und führt unangefochten im Punkte der Wasseraufnahme mit rund 0,58 % Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht.

Das nächstgelegene Pyroplast folgt erst mit 1,35 %.

Es sei auch hier auf die Ergebnisse der schon zitierten Härtemessung verwiesen. Luxene K+B-Kunststoff lag ebenso wie bei unseren Abriebsversuchen hinter Biodent und Pyroplast. Darin erblicken wir ein weiteres Indiz, das den von uns gefundenen Standort auch aus dieser Sicht wahrscheinlich macht.

Die Standorte einzelner Methylmethacrylate werden durch die Kurven- bzw. Geradenverläufe von Palaferm, Biodent- und SR-Harzen veranschaulicht. Die Biodent- und SR-Materialien wurden außerdem auf mehrfache Weise verarbeitet. Es fiel auf, daß das hydropneumatische

Heißpolymerisationsverfahren in Extramat und Polyjet die Abriebfestigkeit in beiden Fällen annähernd gleichsinnig senkte.

Beim Biodent-Kunststoff nutzten wir zudem die Möglichkeit aus, Prüfkörper auch in einem kombinierten Verfahren zu gewinnen (Küvettenteknik mit Polymerisation im Extramat, B-KH). Zu diesem Vorgehen verleitete uns ursprünglich die Beobachtung, daß in der Küvette gepreßte Biodent-Körper (B-K) eine besonders ausgeprägte Schrumpfung zeigten. Herabgesetzte Verdichtung infolge eines früh abfallenden Kontergegen-druckes war als denkbare Möglichkeit nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen. Im Endergebnis überlagerten sich nun die Mittelwerts-Standardabweichungen der genannten Prüfreihe deutlich.

Nichtsdestoweniger wäre es aber verfehlt, die oben geäußerten Bedenken vorschnell fallen zu lassen, als man sonst von vornherein das Hedentverfahren zu einem gleichwertigen Vergleichsstandard erhöhe. Umgekehrt ist ebensowenig letzteres Verfahren zu bewerten, solange bei den küvettengepreßten Körpern noch die Frage minderer Verdichtung offensteht. Was sie nun betrifft, helfen vielleicht zwei Gesichtspunkte weiter: daß nämlich der Polymerisationsvorgang immer vom Rande her einsetzt und Schrumpfung nur als Folge auftritt. Es mußten danach in jedem Falle die im Versuch beanspruchten äußeren Zonen gut verdichtet sein, während das für die Kernanteile nicht sicher anzunehmen war.

Legt man einmal diese Voraussetzung zugrunde, so hätte der Versuch gezeigt, daß als solches das Hedentverfahren keine Verschlechterung der beobachteten Eigenschaft nach sich zog.

Es bleibt der Einfluß des andersgearteten Monomers, der im übrigen auch aus den Unterschieden in der Wasseraufnahme hervorgeht. Für den Biodent-Kunststoff ließ sich nach dem Hedentverfahren ein Zuwachs verzeichnen, umgekehrt bei den SR-Harzen eine Abnahme (vgl. dazu auch die graphische Darstellung 11 im Anhang S. 93 )

Für überwiegend werkstoff- und weniger verarbeitungsbezogen hält auch MARX (30) das jeweilige konkrete Verhalten eines Verblendkunststoffes. Er stützt sich dabei auf weitere Ergebnisse von Dichte- und Härtemessungen und berichtet hier zum Teil von einer leichten Überlegenheit des hydropneumatischen Heißverfahrens.

Im folgenden sei auf einen weiteren Punkt noch eingegangen. Anorganische Füllkörper wie Quarz oder Aluminiumoxid in feiner Körnung werden vielfach beigegeben, um mechanische Eigenschaften zu verbessern (43).

Wie verschiedene Untersuchungen zeigen (55, 64) verringerte sich bei Methylmethacrylaten Abrieb nach Zahnbürstentest deutlich mit ansteigendem Füllstoffgehalt und gröberem Korn. Auf diesem Wege konnte für Biodent K+B 75 eine Steigerung der Abriebfestigkeit nachgewiesen werden (55, 2). Andererseits ist aus unseren Untersuchungen nicht zu entnehmen, daß die Verwirklichung der genannten Erkenntnisse merklichen Gewinn erbrachte. Wie wir sahen, befinden sich alle Methylmethacrylate innerhalb einer geschlossenen Gruppe. Ein Außenseiter wie Harz E sowie das füllstofffreie Pyroplast heben sich durch einen geänderten Aufbau ab.

Nun wurden allerdings unsere Ergebnisse mit Sicherheit auch von der abweichenden Verschleißmethode geprägt. Wir halten es zudem für denkbar, daß durch sie gerade der Wert anorganischer Beimengungen in einem schlechteren Licht erscheinen kann. Gewisse Untersuchungsergebnisse von ARENDS und KEIZER (2), darunter eine Rangvertauschung zweier auch von uns geprüfter Stoffe, deuten in dieselbe Richtung.

Zur Klärung führen wir uns folgendes vor Augen: Unsere Belastungsweise zwang den Kunststoffen relativ große Gefügeverformungen auf engem Raume ab. Wir nehmen ferner an, daß dabei in viel stärkerem Maße als bei Zahnbürstentest der innere Zusammenhalt der organischen Matrix herausgefordert wurde. Vor diesem Hintergrund ist zumindest von einer niedrigeren Füllerkonzentration um rund 10 % keine große Wirkung mehr zu erwarten. Auch der Vorstellung von UETZ und FÖHL (64), wonach die herausragenden Kuppen einzelner Teilchen zu einem "tragenden Gerüst" werden, entspricht es, daß deren Wirkung mehr oder weniger an ein selbst in Ruhe befindliches Gefüge gebunden ist.

Fest steht indes, daß wir mit unseren Befunden eindeutig andere Erfahrungen nachvollziehen können. Danach erbringen zumindest bei PMMA solche Zusätze selbst in hoher Konzentration keine sehr bedeutende Verbesserung der Eigenschaften (42) und treten zumal in ihrer Wirkung gegenüber anderem Vorgehen, wie etwa der Wahl geeigneterer organischer Gerüste, klar in den Hintergrund (2).

Wenn wir schließlich versuchen, aus unserem Hauptindruck eine praktische Nutzenanwendung abzuleiten, erhebt

sich vor allem eine Frage:

Wie steht es um die Gültigkeit der Bedenken, die bislang gegen den Einsatz von Kunststoffen gerade aufgrund ihrer mangelnden Abriebfestigkeit vorgebracht wurden?

Selbst, wenn im Sinne der nicht ausgeschlossenen Verzerrungsmöglichkeit der Standort jener Goldlegierung doch weiter von Harz E entfernt läge, bleibt doch der Abstand zu den übrigen Kunststoffvertretern unübersehbar erhalten.

Dazu ist folgendes anzuführen. Auch ohne ausgesprochener Anhänger einer der Schulen der Gnathologie zu sein, versteht sich gute Verzahnung als ein relativ streng definiertes, punktförmige Areale umfassendes und vor allem beständiges Kontaktverhältnis der Antagonisten. So beachtenswert der erzielte Fortschritt im beobachteten Falle auch ausfiel, wird man selbst dergleichen Harze für okklusale Belange unverändert außer Acht lassen müssen. Denn letztlich zählt das Absolutmaß und nicht der gegenüber anderen Klassenvertretern erreichte Zugewinn. Im übrigen dürften schon die bislang ungelösten Probleme bei der genauen und gezielten Modellation eine überwiegend ablehnende Haltung mitbegründen.

Es setzt jedoch den Wert solcher Werkstoffe nicht herab, wenn man ihre Verwendung auf bestimmte Bereiche einengt. Sollten auch ästhetische Belange den Anforderungen genügen, ließen sich dergleichen Harze mit Vorteil in der reinen, nicht-okklusalen Verblindtechnik einsetzen. Hier könnten sie einen praktizierten Kompromiß zu überwinden helfen, nämlich Haltbarkeit über ästhetische Zugeständnisse zu erwerben.

## F. GÜLTIGKEIT UND TRAGWEITE DER VERSUCHSERGEBNISSE

Die Gültigkeit unserer Ergebnisse hängt im engeren Sinn von der genauen Einhaltung der Versuchsbedingungen ab. Unter den vielfältigen Abweichungsmöglichkeiten war zweifellos die angestrebte Normierung der Schmelz- bzw. Stahlspitzen besonders kritisch. Allein in diesem Rahmen auch konnte die vorgenommene statistische Überarbeitung sinnvoll sein.

Die Tragweite unserer Befunde nun hängt in mehrfacher Weise von den gesteckten Rahmenbedingungen selbst ab. Abgesehen von der Herstellungsweise der Prüfkörper gilt das vor allem für die Wahl ihrer Beanspruchung.

Dazu ist einmal zu sagen, daß wir uns von vornherein auf die Nachahmung *e i n e r* unter den natürlichen Belastungsarten verlegten. Der angestrebte Mechanismus der Gleitbeanspruchung unter hohem Druck sollte bestimmte okklusale Verschleißbedingungen widerspiegeln. Insofern wurden sicherlich gewisse Stoffeigenheiten mehr als andere beansprucht. Die Reaktionsweise entsprach daher der Belastungsart.

Ein zweiter Gesichtspunkt berührt das Problem der Verzerrung. Sobald man gezwungen ist, wichtige Beanspruchungsgrößen wie Form der reibenden Höcker und Druckbeträge abzuändern, lassen sich grundsätzlich verzerrte Reaktionsweisen nicht ausschließen.

Dabei meinen wir jedoch, daß eine solche Erscheinung dann in den Hintergrund tritt, wenn sich die verglichenen Stoffe in Aufbau und wichtigen mechanischen Eigenschaften sehr ähnlich sind.

Unsicherheit herrscht dagegen in dem Falle vor, daß zusätzlich Stoffe mit sehr abweichendem Bau und Verhalten einbezogen werden. Die Messungen an der verwendeten Goldlegierung konnten daher schon theoretisch keine vergleichbare Zuverlässigkeit für sich beanspruchen. Wir begnügten uns hier deshalb mit einem bewußt niedrig gelegten Meßpunkt und lediglich rekonstruierter relativer Steigungstendenz.

Ohne den vorgetragenen Komplex auf die eine oder andere Weise entscheiden zu wollen, meinen wir indes, daß die für diese mäßig weiche Legierung ermittelte Lage zumindest nicht unwahrscheinlich ist. Dafür spricht der immerhin noch deutliche Zwischenraum zu Harz E und erst recht der zu den übrigen Stoffen.

## G. Z U S A M M E N F A S S U N G

Mittels einer eigenen Abrasionsmethode, die den unter punktförmiger Belastung sich einstellenden Abriebszuwachs zu messen erlaubte, wurden eine Reihe von Kronen- und Brücken-Verblendkunststoffen sowie eine mäßig weiche Goldlegierung untersucht. Dabei fielen die besonderen Abriebseigenschaften eines neuen, erstmals uns zur Prüfung vorgelegten Kunsthharzes auf, dessen Gerüst einer geänderten Bowenformel folgte. Sein Verhalten zeigte, daß zahnärztliche Verblendkunststoffe in dieser Hinsicht noch sehr entwicklungsfähig sind. Außerdem wurde deutlich, daß neue Ansätze vornehmlich über neue Konzeptionen zu erhalten sind.

## I. Die näheren Bedingungen der Prüfkörperpolymerisation

| Kunststoff                                                           | Mischungsverhältnis                                        | Durchführungszeit in sek. | Anquellzeit in min.                           | Küvetten-art                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biodent-K<br>Flüssigk.N                                              | 0,9 : 2<br>Gwt.                                            | 15 - 30                   | 6                                             | Gipsküvette                                                                                                   |
| Palafarm<br>Heißpoly-<br>merisat                                     | 1 : 2,5<br>Gwt.                                            | -                         | 3 - 5<br>(6)                                  | Gipsküvette                                                                                                   |
| SR-K                                                                 | 1 : 3 (5)<br>Volmt.                                        | 15                        | 7 - 8<br>(10)                                 | Gipsküvette                                                                                                   |
| Luxene<br>K + B                                                      | vorge-<br>fertigte<br>Riegel                               | -                         | -                                             | Gipsküvette,<br>Luxenaus-<br>führung (1)                                                                      |
| Biodent-KH<br>Flüssigk.N                                             | 0,9 : 2<br>Gwt.                                            | 15 - 30                   | 6                                             | Messing-<br>küvette                                                                                           |
| Biodent-H<br>Flüssigk.S                                              | 0,9 : 2<br>Gwt.                                            | 15 - 30                   | max.<br>1 - 2                                 | Messing-<br>küvette                                                                                           |
| SR-H<br>Modellier-<br>flüssigk.                                      | 1 : 2 (5)<br>Volmt.                                        | -                         | -                                             | Messing-<br>küvette                                                                                           |
| Harz E                                                               | 1 : 1,8<br>Gwt.                                            | 120                       | -                                             | Messing-<br>küvette                                                                                           |
| Pyroplast                                                            | feste<br>Dosierung                                         | 20                        | 15<br>auf Wärme-<br>platte in<br>Anteilschale | Messing-<br>küvette                                                                                           |
| nähere Angaben zu Teigverar-<br>beitung und Preßvorgang              |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
| Vorpressen:                                                          | innerhalb von 2 Min.                                       |                           |                                               | innerhalb von gut 30 Min.<br>auf 100°C (98°C)                                                                 |
|                                                                      | innerhalb von 2 Min.<br>1 Min.<br>bei 3,5 to<br>bei 3,5 to |                           |                                               | 30 Min. bei 100°C (98°C)<br>Abkühlen über Stunden im<br>Polymerisationsgefäß                                  |
| Nachlegen                                                            |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
| Hauptpressen:                                                        | 1 Min.                                                     |                           |                                               | 30 Min. bei 70°C                                                                                              |
|                                                                      | bei 3,5 to                                                 |                           |                                               | 30 Min. bei 98°C                                                                                              |
| Kontertemperatur:                                                    | 75°C                                                       |                           |                                               | Abkühlen wie oben                                                                                             |
| Eingabe zugeschnittener<br>Streifen auf Presse Nachlegen             |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
| Vorpressen:                                                          | kurz auf<br>250 lbs                                        |                           |                                               | auf 275°F 12 Min. bei 1500 lbs<br>beheizt 15 Min. bei 98°C im<br>Wasserbad                                    |
|                                                                      | innerhalb 1 Min. auf 1500 lbs                              |                           |                                               | 15 Min. in kaltem<br>Wasser abkühlen                                                                          |
|                                                                      | 2 Min. bei 1500 lbs                                        |                           |                                               |                                                                                                               |
| Vorpressen: (2)                                                      |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
|                                                                      | innerhalb 1 Min. auf 3 to                                  |                           |                                               | 15 Min. im Extramat bei                                                                                       |
|                                                                      | 1 Min. bei 3 to                                            |                           |                                               | 6 atü (+ 0,5 atü) u. 93°C                                                                                     |
| Hauptpressen:                                                        | 1 Min. bei 3 to                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
| Kontertemperatur:                                                    | 75°C                                                       |                           |                                               | 25 Min. abkühlen im<br>Einsatzgefäß                                                                           |
| Eingabe des leicht<br>fließenden Teiges in<br>kalte Form             |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
| Eingabe des leicht<br>fließenden Teiges in<br>erwärmte Form (59,5°C) |                                                            |                           |                                               | 2 Min. bei 11 Min. (4)                                                                                        |
| 2 Min. ersteifen lassen (3)                                          |                                                            |                           |                                               | 2,25 atü kalt bei 6,5 atü<br>vorkompprimieren und 120°C<br>im<br>Radiodent Poly-Jet                           |
| Eingabe des zähflüssigen<br>Teiges in kalte Form                     |                                                            |                           |                                               | 25 Min. im<br>Einsatzgefäß<br>abkühlen                                                                        |
|                                                                      |                                                            |                           |                                               | 18 Min. (4)<br>bei 6 atü<br>und 120°C                                                                         |
| Eingabe des tropfenden<br>Teiges in vorgewärmte<br>Form              |                                                            |                           |                                               |                                                                                                               |
|                                                                      |                                                            |                           |                                               | 20 Min. bei 130 - 150°C (5)<br>im Warmluftstrahl des<br>Pyro-convector<br>25 Min. im Einsatzgefäß<br>abkühlen |



Anmerkungen:

- (1) Zur Verarbeitungsvorschrift von Luxene K+B-Material gehörte es,
  - Hartgips mit NFC-Lösung anzumischen und
  - die Küvettenhälften nach dem Isolieren für genau 20 Minuten im Trockenofen bei  $204^{\circ}\text{C}$  zu lagern.
- (2) Die Preßdrucke und -zeiten berücksichtigten kleinere Küvettenoberfläche und raschere Abkühlung des Metallkonters.
- (3) Diese Maßnahmen ahmten die Wirkung der benötigten Heizplatte auf den Modellstumpf nach.
- (4) Die Polymerisationszeiten enthielten zur Sicherheit die doppelte Aufheizzeit der Messingform von  $2 \times 1 \frac{1}{2}$  Minuten.
- (5) Diese Angaben entsprachen einer schriftlichen Empfehlung der IVOCLAR AG.

II. Meßdaten der Furchenwerte

1) Vorversuche - durchgeführt an Harz E

Reibedauer: 16000 Bewegungsabläufe mit Meßstufen nach 2000, 4000, 8000, 12000, 16000 vollständigen Bewegungsabläufen.

Auflagegewicht: rund 3,7 kg

Schmelze: stärker verrundete Spitze

Messung von Rillentiefe und Rillenbreite mit Berechnung der Mittelwerte sowie der Höhe ihres Zuwachses als Prozentsatz vom Endwert.

| a) Rillentiefe in $10^{-2}$ mm |         |         |         |         |       |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|
|                                | 2000    | 4000    | 8000    | 12000   | 16000 |
|                                | 10,5    | 13,5    | 17      | 18      | 19    |
|                                | 11      | 14,5    | 16,5    | 18      | 19    |
|                                | 17,5    | 21      | 25      | 27      | 28,5  |
| Mittelwerte:                   | 13      | 16,33   | 19,5    | 21      | 22,16 |
| Zuwachs:                       | 58,64 % | 73,68 % | 87,97 % | 94,73 % | 100 % |

| b) Rillenbreite in mm |        |         |         |         |       |
|-----------------------|--------|---------|---------|---------|-------|
|                       | 2000   | 4000    | 8000    | 12000   | 16000 |
|                       | 0,78   | 0,87    | 0,95    | 1,0     | 1,0   |
|                       | 0,69   | 0,78    | 0,87    | 0,9     | 0,94  |
|                       | 0,81   | 0,96    | 1,1     | 1,12    | 1,12  |
| Mittelwerte:          | 0,76   | 0,87    | 0,97    | 1,01    | 1,02  |
| Zuwachs:              | 74,5 % | 85,29 % | 95,42 % | 98,68 % | 100 % |

## 2) Hauptversuche

Reibedauer: 1000 Bewegungsabläufe mit  
Meßstufen nach 100, 250, 500,  
1000 vollständigen Bewegungs-  
abläufen

Auflagegewicht: rund 1,7 kg

Schmelze: stark zugespitzt - siehe Text

Aus den folgenden Meßwerten der Prüfkörper-Furchen-  
tiefen wurden berechnet:

- der jeweilige Mittelwert  $\bar{x}$
- die mittlere Abweichung des Mittelwerts ( $s_{\bar{x}}$ ), gleich-  
bedeutend mit Standardabweichung des arithmetischen  
Mittels (53):

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}}, \text{ wobei } s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} = \text{Varianz}$$

s = Standardabweichung

x = Einzelmeßwert

n = Anzahl der Einzelmessungen

- der prozentuale Tiefenzuwachs, bezogen auf den Mittel-  
wert der 1. Meßstufe

Alle Furchentiefen sind in  $10^{-2}$  mm angegeben.

Harz E - gegen Schmelzspitzen:

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14,5       |
|                 | 10,5       | 11,5       | 12         | 13         |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14         |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14,5       |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14,5       |
|                 | 10,5       | 11,5       | 12         | 12,5       |
|                 | 10         | 10,5       | 12         | 12,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 13,5       | 14         |
|                 | 9,5        | 10,5       | 11,5       | 12         |
|                 | 12         | 13         | 13,5       | 14,5       |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14         |
|                 | 11         | 12,5       | 13         | 14         |
|                 | 12,5       | 13,5       | 14,5       | 15,5       |
|                 | 10         | 11,5       | 12         | 12,5       |
|                 | 9,5        | 10,5       | 11,5       | 12,5       |
|                 | 10         | 11         | 12         | 12,5       |
|                 | 10         | 11,5       | 12         | 12,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 13,5       | 14,5       |
| Mittelwerte:    | 10,89      | 12,0       | 12,81      | 13,56      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,21$ | $\pm 0,22$ | $\pm 0,21$ | $\pm 0,25$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 10,19 %    | 17,63 %    | 24,52 %    |

Rillenlängen von Harz E gegen Schmelzspitzen in mm:

|      |                        |
|------|------------------------|
| 3,86 | (nach 1000 Bewegungen) |
| 4,09 |                        |
| 4,37 |                        |
| 3,85 |                        |
| 4,09 |                        |
| 4,53 |                        |
| 3,85 |                        |
| 4,08 |                        |
| 4,42 |                        |
| 3,72 |                        |
| 4,03 |                        |
| 4,40 |                        |
| 3,88 |                        |
| 4,11 |                        |
| 4,40 |                        |
| 3,88 |                        |
| 4,13 |                        |
| 4,27 |                        |

Mittelwert: 4,108

Harz E - gegen Stahlspitzen:

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 10,5       | 11,5       | 12         | 13         |
|                 | 11         | 12         | 13         | 14         |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14,5       |
|                 | 11,5       | 12,5       | 13,5       | 14,5       |
|                 | 10,5       | 12         | 13         | 13,5       |
|                 | 12         | 13         | 14         | 15         |
|                 | 9,5        | 10,5       | 11,5       | 12         |
|                 | 10         | 11         | 12         | 13         |
|                 | 10         | 11         | 12         | 13,5       |
| Mittelwerte:    | 10,72      | 11,78      | 12,72      | 13,67      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,28$ | $\pm 0,28$ | $\pm 0,29$ | $\pm 0,31$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 9,89 %     | 18,66 %    | 27,52 %    |

Pyroplast (Py)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 11         | 12,5       | 15         | 16,5       |
|                 | 12,5       | 14         | 15,5       | 17         |
|                 | 12         | 13,5       | 15         | 16,5       |
|                 | 12,5       | 14,5       | 15,5       | 17,5       |
|                 | 11         | 13,5       | 15         | 16         |
|                 | 13,5       | 15,5       | 16,5       | 17,5       |
|                 | 13,5       | 15         | 16,5       | 17,5       |
|                 | 10         | 11,5       | 13         | 14,5       |
|                 | 12         | 13,5       | 15,5       | 16,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 14,5       | 16,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 14,5       | 16         |
|                 | 11         | 12,5       | 14         | 15,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 14,5       | 16,5       |
|                 | 12         | 14         | 15         | 16,5       |
|                 | 11,5       | 13,5       | 14,5       | 16         |
|                 | 12         | 14         | 15,5       | 17         |
|                 | 11         | 12,5       | 14,5       | 15,5       |
|                 | 11,5       | 13         | 14,5       | 16,5       |
| Mittelwerte:    | 11,75      | 13,47      | 14,94      | 16,42      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,21$ | $\pm 0,23$ | $\pm 0,22$ | $\pm 0,18$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 14,64 %    | 27,15 %    | 39,74 %    |

SR-Küvettentechnik (SR-K)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 12         | 14,5       | 16         | 17,5       |
|                 | 12,5       | 14         | 16         | 18         |
|                 | 12         | 14,5       | 16,5       | 18         |
|                 | 10,5       | 12,5       | 15         | 16,5       |
|                 | 12,5       | 14,5       | 16,5       | 18,5       |
|                 | 11,5       | 13,5       | 15,5       | 17,5       |
|                 | 12         | 14,5       | 16,5       | 18         |
|                 | 11         | 13,5       | 14,5       | 16,5       |
|                 | 12         | 14,5       | 16         | 18,5       |
|                 | 11         | 13,5       | 16         | 17,5       |
|                 | 10,5       | 12,5       | 14,5       | 16,5       |
|                 | 10,5       | 13         | 14,5       | 16,5       |
|                 | 12         | 14,5       | 16,5       | 18         |
|                 | 12         | 14         | 16         | 18,5       |
|                 | 12         | 14         | 16,5       | 18,5       |
|                 | 10,5       | 12,5       | 14         | 16,5       |
|                 | 11,5       | 14         | 16         | 17,5       |
|                 | 10,5       | 13         | 14,5       | 17         |
| Mittelwerte:    | 11,47      | 13,72      | 15,61      | 17,5       |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,17$ | $\pm 0,18$ | $\pm 0,21$ | $\pm 0,18$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 19,62 %    | 36,09 %    | 52,57 %    |

SR-Hedenttechnik (SR-H)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250       | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|-----------|------------|------------|
|                 | 11         | 13        | 14         | 17         |
|                 | 12,5       | 15        | 17,5       | 19         |
|                 | 13,5       | 15,5      | 18         | 20         |
|                 | 11,5       | 13,5      | 16,5       | 18,5       |
|                 | 12,5       | 15        | 17,5       | 18,5       |
|                 | 12,5       | 15        | 17,5       | 19         |
|                 | 11         | 14        | 16         | 18         |
|                 | 13         | 16        | 17         | 19         |
|                 | 11         | 13,5      | 16         | 18         |
|                 | 11         | 13,5      | 15,5       | 17,5       |
|                 | 12         | 14,5      | 16,5       | 18,5       |
|                 | 12         | 14        | 16,5       | 18         |
|                 | 13         | 15,5      | 17,5       | 19         |
|                 | 12,5       | 15,5      | 16,5       | 18,5       |
|                 | 12         | 14,5      | 16         | 18         |
|                 | 13         | 15        | 17         | 20,5       |
|                 | 12         | 14        | 16         | 18,5       |
|                 | 13         | 14,5      | 15,5       | 18,5       |
| Mittelwerte:    | 12,17      | 14,53     | 16,5       | 18,56      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,19$ | $\pm 0,2$ | $\pm 0,23$ | $\pm 0,19$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 19,39 %   | 35,58 %    | 52,51 %    |

Biodent-Küvettentechnik (B-K)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 14,5       | 16,5       | 17,5       | 18,5       |
|                 | 14         | 16         | 17,5       | 19         |
|                 | 13         | 15,5       | 17         | 18         |
|                 | 15         | 16,5       | 18         | 19,5       |
|                 | 15         | 16,5       | 18         | 19         |
|                 | 13,5       | 16         | 17         | 18,5       |
|                 | 14         | 16         | 18         | 21         |
|                 | 13,5       | 15,5       | 16,5       | 18,5       |
|                 | 13,5       | 16         | 17         | 18,5       |
|                 | 14         | 15,5       | 17,5       | 20         |
|                 | 15         | 16,5       | 18,5       | 19,5       |
|                 | 14,5       | 16,5       | 18         | 19,5       |
|                 | 14         | 16         | 18         | 20         |
|                 | 14         | 15,5       | 17         | 18,5       |
|                 | 14,5       | 16         | 17,5       | 20         |
|                 | 14,5       | 17         | 18,5       | 20         |
|                 | 13         | 15         | 17         | 18,5       |
|                 | 13,5       | 15         | 17         | 18,5       |
| Mittelwerte:    | 14,06      | 15,97      | 17,53      | 19,17      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,15$ | $\pm 0,13$ | $\pm 0,14$ | $\pm 0,19$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 13,58 %    | 24,68 %    | 36,34 %    |

Biodent-Küvetten-/Hedenttechnik (B-KH)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 13         | 14         | 15,5       | 16,5       |
|                 | 12,5       | 14,5       | 16,5       | 18,5       |
|                 | 16         | 18         | 19         | 21         |
|                 | 13         | 14,5       | 15,5       | 16,5       |
|                 | 14,5       | 16,5       | 17,5       | 19         |
|                 | 13,5       | 15,5       | 17         | 19,5       |
|                 | 14,5       | 16         | 17,5       | 19         |
|                 | 15         | 16,5       | 17         | 18         |
|                 | 12         | 14,5       | 16,5       | 18         |
|                 | 14         | 15,5       | 18         | 20         |
|                 | 12         | 14,5       | 16,5       | 17,5       |
|                 | 15         | 16,5       | 18         | 19         |
|                 | 13,5       | 15         | 17,5       | 19,5       |
|                 | 13         | 16         | 18,5       | 21         |
|                 | 14,5       | 16         | 17,5       | 18,5       |
|                 | 14         | 15,5       | 17         | 18         |
|                 | 14,5       | 17,5       | 19,5       | 21         |
|                 | 13,5       | 16         | 18,5       | 20,5       |
| Mittelwerte:    | 13,78      | 15,69      | 17,39      | 18,94      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,26$ | $\pm 0,26$ | $\pm 0,26$ | $\pm 0,33$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 13,86 %    | 26,2 %     | 37,45 %    |

Biodent-Hedenttechnik (B-H)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 15         | 17         | 18,5       | 19,5       |
|                 | 16         | 18,5       | 20         | 22,5       |
|                 | 13,5       | 16,5       | 17,5       | 18,5       |
|                 | 15         | 17,5       | 18,5       | 21         |
|                 | 16         | 18         | 20,5       | 22         |
|                 | 16,5       | 18         | 20,5       | 22,5       |
|                 | 13,5       | 15         | 17         | 19         |
|                 | 17         | 19         | 21,5       | 23         |
|                 | 14,5       | 17         | 18,5       | 21         |
|                 | 13,5       | 15,5       | 17,5       | 18,5       |
|                 | 14,5       | 16         | 17,5       | 20         |
|                 | 14,5       | 17         | 18         | 20,5       |
|                 | 15         | 17,5       | 19         | 21         |
|                 | 15         | 17,5       | 18,5       | 20         |
|                 | 15,5       | 17         | 18         | 20         |
|                 | 15,5       | 18         | 19,5       | 21,5       |
|                 | 14         | 16,5       | 18         | 20         |
|                 | 16,5       | 19         | 21         | 22,5       |
| Mittelwerte:    | 15,06      | 17,25      | 18,86      | 20,72      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,25$ | $\pm 0,25$ | $\pm 0,32$ | $\pm 0,33$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 14,54 %    | 25,23 %    | 37,58 %    |

Palaferm (P)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 15,5       | 17,5       | 19,5       | 22         |
|                 | 15,5       | 18         | 19,5       | 21,5       |
|                 | 14,5       | 16,5       | 19         | 22         |
|                 | 17,5       | 20         | 21,5       | 23,5       |
|                 | 15         | 18         | 21         | 23         |
|                 | 15         | 17,5       | 20,5       | 22,5       |
|                 | 15,5       | 18         | 20         | 21,5       |
|                 | 16         | 17,5       | 19,5       | 22,5       |
|                 | 15         | 18         | 21,5       | 23         |
|                 | 15         | 17,5       | 19,5       | 22         |
|                 | 16         | 18,5       | 20         | 22,5       |
|                 | 13,5       | 15,5       | 18,5       | 20         |
|                 | 16         | 19         | 21         | 23         |
|                 | 17,5       | 20,5       | 22,5       | 24         |
|                 | 16         | 18         | 19,5       | 22         |
|                 | 15         | 17,5       | 19         | 21,5       |
|                 | 15,5       | 17,5       | 19,5       | 22         |
|                 | 14         | 16,5       | 18         | 20,5       |
| Mittelwerte:    | 15,44      | 17,86      | 19,97      | 22,17      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,24$ | $\pm 0,28$ | $\pm 0,27$ | $\pm 0,23$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 15,67 %    | 29,34 %    | 43,59 %    |

Luxene K + B (L)

| Bewegungszahl:  | 100        | 250        | 500        | 1000       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
|                 | 16,5       | 18,5       | 20,5       | 22         |
|                 | 15,5       | 18         | 20,5       | 22         |
|                 | 15,5       | 18,5       | 20         | 22,5       |
|                 | 16,5       | 18         | 20         | 22         |
|                 | 17         | 19         | 20         | 23         |
|                 | 16,5       | 18         | 20,5       | 22,5       |
|                 | 16         | 18,5       | 20,5       | 22         |
|                 | 16,5       | 19,5       | 21         | 23         |
|                 | 15         | 18         | 20,5       | 22,5       |
|                 | 15         | 17,5       | 18,5       | 21         |
|                 | 14,5       | 16,5       | 19         | 21         |
|                 | 15         | 17,5       | 19         | 21,5       |
|                 | 16,5       | 18,5       | 20         | 22,5       |
|                 | 16,5       | 18         | 20,5       | 22         |
|                 | 15         | 17,5       | 19,5       | 21         |
|                 | 16         | 18,5       | 20         | 21,5       |
|                 | 16,5       | 18,5       | 20         | 21,5       |
|                 | 16         | 18         | 20         | 22         |
| Mittelwerte:    | 15,89      | 18,14      | 20         | 21,97      |
| $s_{\bar{x}}$ : | $\pm 0,17$ | $\pm 0,16$ | $\pm 0,15$ | $\pm 0,15$ |
| Tiefenzuwachs:  | 0 %        | 14,16 %    | 25,87 %    | 38,26 %    |

Degulor B (Deg-B)

| a)<br>gegen Schmelzspitzen<br>nach<br>100 Bewegungsabläufen |           | b)<br>gegen Stahlspitzen<br>nach<br>250 Bewegungsabl. |
|-------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------|
| F.-tiefe / F.-länge<br>(mm)                                 |           | Furchentiefe                                          |
| 4                                                           | 4,08      | 9,5                                                   |
| 4                                                           | 4,55      | 12,5                                                  |
| 3,5                                                         | 4,7       | 12,5                                                  |
| 3,5                                                         | 3,7       | 9,5                                                   |
| 4,5                                                         | 4,38      | 11,5                                                  |
| 4,5                                                         | 4,45      | 13                                                    |
| 3,5                                                         | 3,82      | 12                                                    |
| 4,5                                                         | 3,9       | 12,5                                                  |
| 4                                                           | 4,19      | 8                                                     |
| 4                                                           | 3,78      | 12,5                                                  |
| 3,5                                                         | 4,02      | 10                                                    |
| 4                                                           | 4,21      | 9                                                     |
| 4                                                           | 3,9       | 9                                                     |
| 3,5                                                         | 4,35      | 9                                                     |
| 3,5                                                         | 4,58      | 11                                                    |
| 3                                                           | 3,83      | 10                                                    |
| 4                                                           | 4,15      | 10                                                    |
| 3,5                                                         | 4,52      | 10,5                                                  |
| Mittelwerte:                                                | 3,83      | 10,67                                                 |
| $s_{\bar{x}}$ :                                             | $\pm 0,1$ | $\pm 0,37$                                            |

### III. Daten der Schmelz- und Stahlspitzen

#### Abkürzungen:

h = Schmelzhöhe, diff = Höhendifferenz nach Abrieb  
d = Durchmesser, entweder der Koni, 0,05 mm von deren Spitze entfernt oder der Abplattungen  
l oder q = längs oder quer zur Reiberichtung  
a oder k = abgeplattet oder konisch nach Abrieb

Ausgangsform der Spitzen: sämtlich konisch  
alle Angaben in  $10^{-2}$  mm

#### Schmelze im Einsatz gegen Harz E - 1000 Bew.-abläufe

| vor Abrieb            |       |      |      | nach Abrieb |         |                   |
|-----------------------|-------|------|------|-------------|---------|-------------------|
| h                     | dl    | dq   | diff | h           | dl      | dq                |
| 357                   | 23    | 20   | 3    | 354         | 15 a    | 21 k              |
| 550                   | 23    | 24,5 | 5    | 545         | 17 a    | 14 a              |
| 358                   | 24    | 24   | 3    | 355         | 29 k    | 14 a              |
| 497                   | 24    | 22,5 | 4    | 493         | 16 a    | 23 k              |
| 509                   | 25    | 23,5 | 3    | 506         | 15 a    | 22 k              |
| 419                   | 23    | 26   | 2    | 417         | 14 a    | 25,5 k            |
| 461,5                 | 25    | 24   | 3,5  | 458         | 18 a    | 13 a              |
| 469,5                 | 24    | 24   | 2,5  | 467         | 13 a    | 13 a              |
| 402                   | 25    | 24   | 2    | 400         | 16 a    | 10 a              |
| 406                   | 23,5  | 25   | 6    | 400         | 28 k    | 13 a              |
| 355                   | 23    | 24   | 3    | 352         | 15 a    | 22 k              |
| 539,5                 | 25    | 23,5 | 1,5  | 538         | 14 a    | 24 k              |
| 545                   | 23    | 22,5 | 6    | 539         | 14 a    | 14 a              |
| 495                   | 22    | 23   | 3,5  | 491,5       | 17 a    | 25 k              |
| 416,5                 | 24    | 22   | 2,5  | 414         | 19 a    | 28 k <sup>+</sup> |
| 458,5                 | 23    | 23,5 | 3,5  | 455         | 17 a    | 14 a              |
| 461                   | 22    | 24   | 1    | 460         | 14 a    | 23 k              |
| 535                   | 24    | 23   | 3    | 532         | 17 a    | 25 k              |
| Mittelwerte:          | 23,64 | 23,5 | 3,22 |             | 15,69 a | 13,13 a           |
|                       | 23,57 |      |      |             |         |                   |
| isolierte Mittelwerte | 23,28 |      |      | 23,39 k     |         |                   |

aus dem dq der Schmelze, die konisch blieben, ohne <sup>+</sup>

Schmelze im Einsatz gegen Degulor B - 100 Bew.-abläufe

Spitzen nach dem Abrieb sämtlich abgeplattet

| vor Abrieb |       |       |      | nach Abrieb |    |       |
|------------|-------|-------|------|-------------|----|-------|
| h          | dl    | dq    | diff | h           | dl | dq    |
| 404,5      | 21    | 23,5  | 7,5  | 397         | 30 | 32    |
| 533        | 25    | 25    | 9,5  | 523,5       | 34 | 33    |
| 483,5      | 25    | 24,5  | 7,5  | 476         | 31 | 30    |
| 477,5      | 24    | 23,5  | 8,5  | 469         | 36 | 34    |
| 464,5      | 22,5  | 22,5  | 11,5 | 453         | 41 | 43    |
| 509        | 25    | 25    | 8    | 501         | 31 | 33    |
| 449        | 24    | 22,5  | 10   | 439         | 36 | 34    |
| 498        | 25    | 23    | 12   | 486         | 45 | 43    |
| 568        | 24    | 24    | 11   | 557         | 38 | 42    |
| 389,5      | 22    | 24,5  | 12,5 | 377         | 45 | 42    |
| 350,5      | 23    | 21,5  | 8    | 342,5       | 35 | 33    |
| 527,5      | 22    | 23,5  | 5,5  | 522         | 29 | 25    |
| 522        | 25    | 24,5  | 9,5  | 512,5       | 31 | 31    |
| 437,5      | 24    | 23,5  | 9,5  | 428         | 35 | 34    |
| 335        | 24,5  | 25    | 8    | 327         | 32 | 33    |
| 462        | 24,5  | 24    | 7,5  | 454,5       | 28 | 31    |
| 452        | 23    | 25    | 7    | 445         | 28 | 29    |
| 513        | 24,5  | 24    | 6    | 507         | 27 | 26    |
| Mittel-    | 23,78 | 23,83 | 8,83 |             | 34 | 33,77 |
| werte:     | 23,81 |       |      |             |    |       |

Spitzenabmessungen der Stähle

| a)           |       | b)              |       |      |
|--------------|-------|-----------------|-------|------|
| gegen Harz E |       | gegen Degulor B |       |      |
| dl           | dq    | dl              | dq    |      |
| 24           | 23,5  | 24              | 23,5  |      |
| 24           | 22,5  | 24              | 23    |      |
| 23,5         | 23,5  | 23,5            | 24    |      |
| 23,5         | 25    | 25              | 24    |      |
| 23           | 22,5  | 25,5            | 25    |      |
| 22,5         | 23,5  | 21              | 23    |      |
| 24,5         | 25,5  | 23              | 21    |      |
| 23,5         | 24    | 24              | 22    |      |
| 25           | 24    | 22,5            | 24,5  |      |
| Mittelwerte: | 23,72 | 23,78           | 23,5  | 24   |
|              |       |                 | 23,5  | 23,5 |
|              | 23,75 |                 | 22,5  | 25,5 |
|              |       |                 | 23,5  | 22   |
|              |       |                 | 25    | 26   |
|              |       |                 | 22    | 23   |
|              |       |                 | 25,5  | 25   |
|              |       |                 | 25    | 24   |
|              |       |                 | 25    | 23,5 |
|              |       |                 |       |      |
| Mittelwerte: |       | 23,78           | 23,69 |      |
|              |       |                 | 23,74 |      |

#### IV. Daten der Wasseraufnahme

Lagerungsdauer der Körper: 35 Tage bei  $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$   
in destilliertem Wasser

Zwischenmessung am 3. Tag

Gewichtsangaben in Gramm, gemessen mit einer Präzisionswaage, Mettler Analysenwaage H 16

Trockengewicht nach siebentägiger Lagerung im Wärmeschrank bei rd.  $50^{\circ}\text{C}$ .

##### Harz E:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,2387         | 0,24135                         | 0,2422                           |
| 0,23975        | 0,24236                         | 0,24315                          |
| 0,23995        | 0,24260                         | 0,24348                          |
| 0,23705        | 0,23964                         | 0,2404                           |
| 0,23806        | 0,24070                         | 0,24152                          |
| 0,24054        | 0,24313                         | 0,24409                          |

Mittelwerte:

|       |         |         |
|-------|---------|---------|
| 0,239 | 0,24163 | 0,24247 |
|-------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,10041 % | 1,45188 % |
|-----------|-----------|

##### Pyroplast:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,2239         | 0,23173                         | 0,23255                          |
| 0,23065        | 0,233                           | 0,23375                          |
| 0,23153        | 0,23392                         | 0,23472                          |
| 0,23254        | 0,2348                          | 0,23564                          |
| 0,2307         | 0,23309                         | 0,23383                          |
| 0,2323         | 0,23463                         | 0,23536                          |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,23117 | 0,23352 | 0,23430 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,01656 % | 1,35398 % |
|-----------|-----------|

SR-Küvettentechnik:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,22505        | 0,22885                         | 0,22985                          |
| 0,23502        | 0,23894                         | 0,23995                          |
| 0,2339         | 0,23786                         | 0,23882                          |
| 0,23126        | 0,23512                         | 0,23615                          |
| 0,2287         | 0,23255                         | 0,23354                          |
| 0,23456        | 0,23855                         | 0,23958                          |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,23141 | 0,23531 | 0,23631 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,68532 % | 2,11745 % |
|-----------|-----------|

SR-Hedenttechnik:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,23045        | 0,23361                         | 0,23486                          |
| 0,2324         | 0,23558                         | 0,23685                          |
| 0,2347         | 0,23786                         | 0,23906                          |
| 0,22876        | 0,23195                         | 0,23311                          |
| 0,23214        | 0,23538                         | 0,23654                          |
| 0,23195        | 0,23517                         | 0,23645                          |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,23173 | 0,23492 | 0,23614 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|         |           |
|---------|-----------|
| 1,37660 | 1,90307 % |
|---------|-----------|

Biodent-Küvettentechnik:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,23959        | 0,24305                         | 0,2439                           |
| 0,23575        | 0,23925                         | 0,23998                          |
| 0,2346         | 0,23806                         | 0,23884                          |
| 0,23946        | 0,24306                         | 0,24395                          |
| 0,23755        | 0,24108                         | 0,24195                          |
| 0,239          | 0,24254                         | 0,2434                           |

Mittelwerte:

|         |         |       |
|---------|---------|-------|
| 0,23765 | 0,24117 | 0,242 |
|---------|---------|-------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,48116 % | 1,83042 % |
|-----------|-----------|

Biodent-Hedentechnik:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,23685        | 0,24078                         | 0,2416                           |
| 0,2379         | 0,24189                         | 0,24266                          |
| 0,2322         | 0,23609                         | 0,23684                          |
| 0,23812        | 0,24214                         | 0,24294                          |
| 0,2317         | 0,23555                         | 0,23635                          |
| 0,23593        | 0,23995                         | 0,2407                           |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,23545 | 0,23940 | 0,24018 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,67763 % | 2,00891 % |
|-----------|-----------|

Palaferm:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,2246         | 0,22798                         | 0,22882                          |
| 0,23195        | 0,2354                          | 0,23645                          |
| 0,23333        | 0,23674                         | 0,23775                          |
| 0,23114        | 0,23455                         | 0,2355                           |
| 0,2308         | 0,23427                         | 0,23519                          |
| 0,22748        | 0,23085                         | 0,23185                          |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,22988 | 0,23329 | 0,23426 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 1,48338 % | 1,90534 % |
|-----------|-----------|

Luxene:

| Trockengewicht | Gewichtszunahme<br>nach 3 Tagen | Gewichtszunahme<br>nach 35 Tagen |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0,24903        | 0,25035                         | 0,25051                          |
| 0,25265        | 0,25385                         | 0,2541                           |
| 0,25236        | 0,25355                         | 0,25381                          |
| 0,25156        | 0,25274                         | 0,25298                          |
| 0,25127        | 0,25245                         | 0,25275                          |
| 0,25445        | 0,25563                         | 0,25595                          |

Mittelwerte:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 0,25188 | 0,25309 | 0,25335 |
|---------|---------|---------|

Zuwachs bezogen auf das Trockengewicht:

|           |           |
|-----------|-----------|
| 0,48038 % | 0,58361 % |
|-----------|-----------|

V. ABBILDUNGEN UND DIAGRAMME

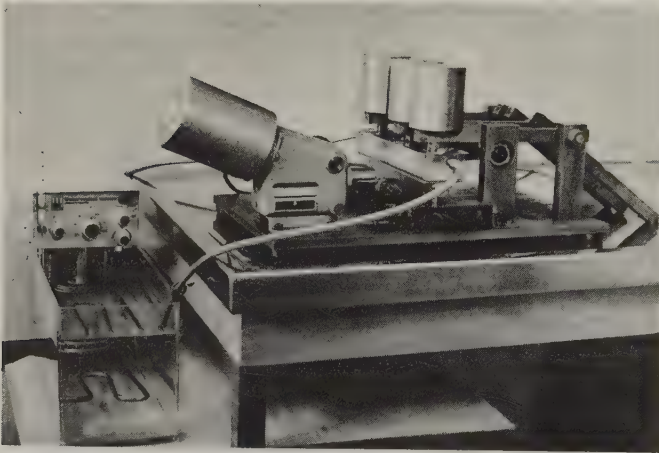


Abbildung 1: Der Versuchsaufbau

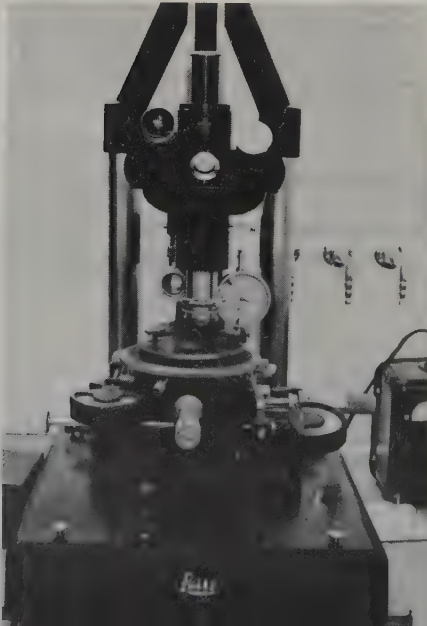


Abbildung 2:  
Das Meßmikroskop

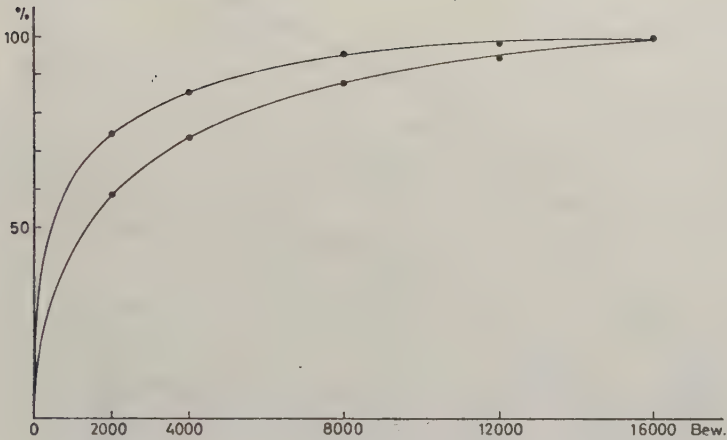


Diagramm 1

Vorversuch, Bedingungen siehe Anhang S. 61

Prozentuale Zunahme der Furchenbreite und -tiefe mit fortschreitender Reibedauer.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen als Maß der Abriebsdauer

Ordinate: Prozentskala - Auftrag in Prozentanteilen vom jeweiligen Endwert

obere Kurve: Furchenbreite

untere Kurve: Furchentiefe

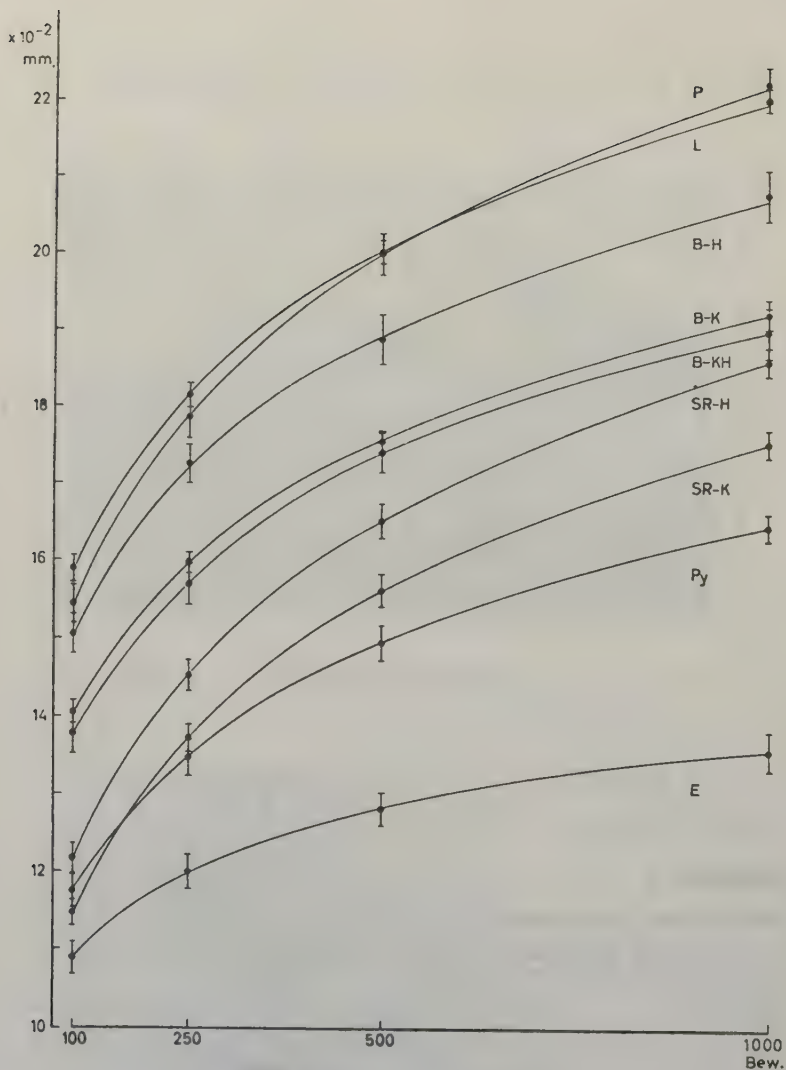


Diagramm 2

Das Verhalten der geprüften Verblendkunststoffe während des Abriebs, dargestellt am Tiefenzuwachs der sich ausprägenden Reibefurchen, unter Ausklammerung des einleitenden Geschehens im Bereich der ersten 100 Abriebsbewegungen.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen als Maß der Abriebsdauer

Ordinate: Furchentiefe in  $10^{-2}$  mm

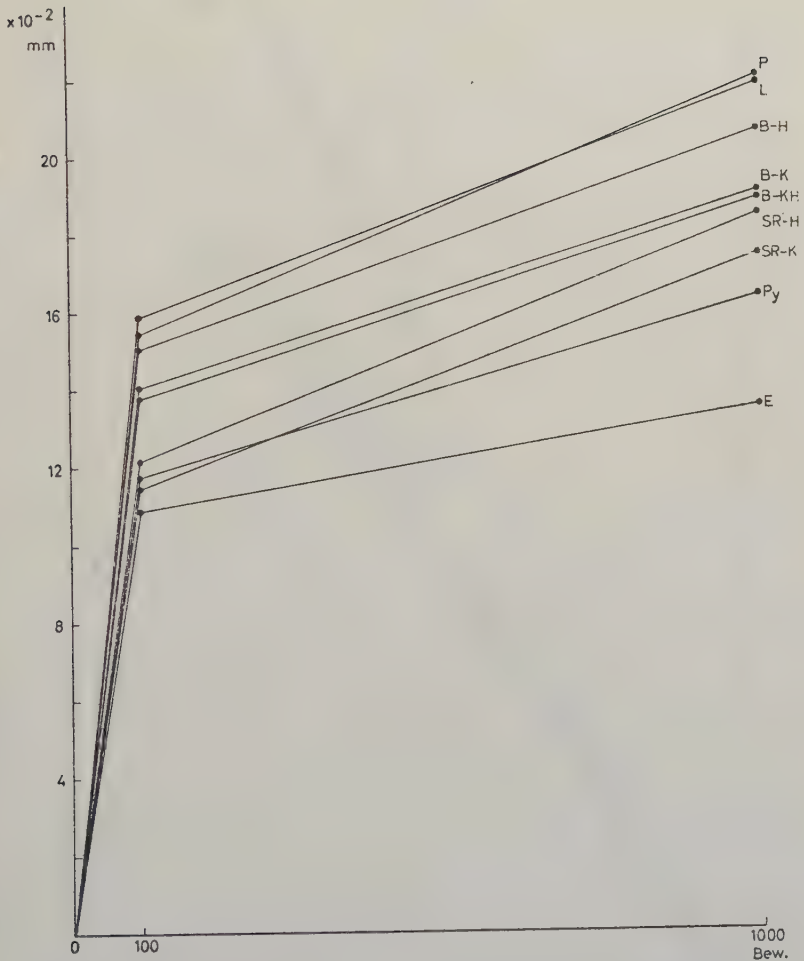
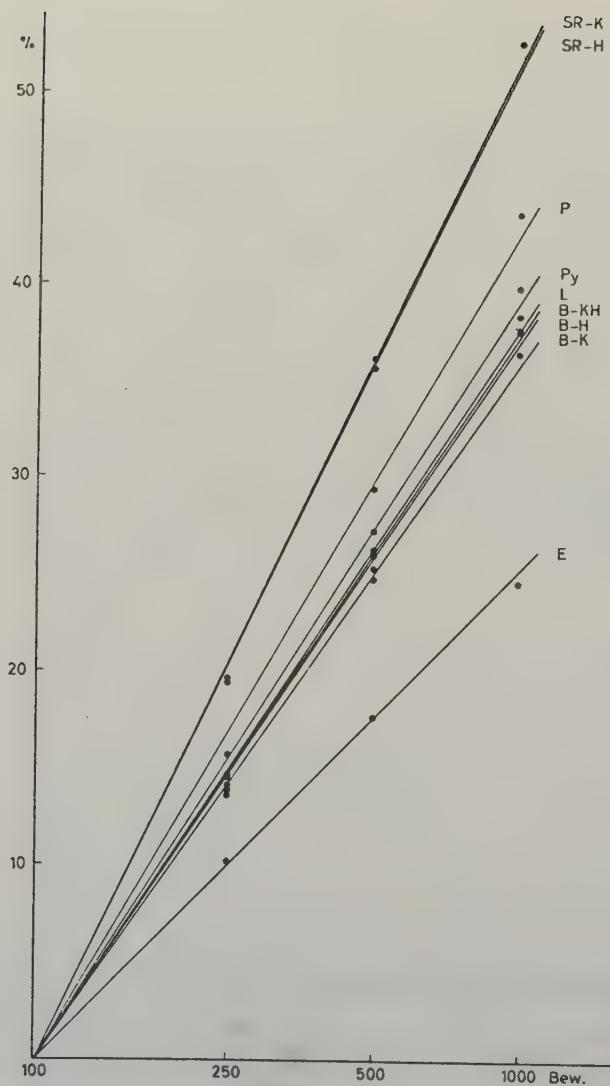


Diagramm 3

Die Zuwachsphasen der Furchentiefen während des Abriebs vom Nullpunkt an, in schematisierter Darstellung.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen als Maß der Abriebsdauer

Ordinate: Furchentiefen in  $10^{-2}$  mm



**Diagramm 4**

Relativer Zuwachs der Furchentiepen während des Abriebs, bei logarithmisch aufgetragener Bewegungszahl.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen in logarithmischer Abstufung

Ordinate: Prozentskala - Zuwachs der Furchentiepen in Prozentanteilen des ersten Meßwertes bei 100 Bewegungen

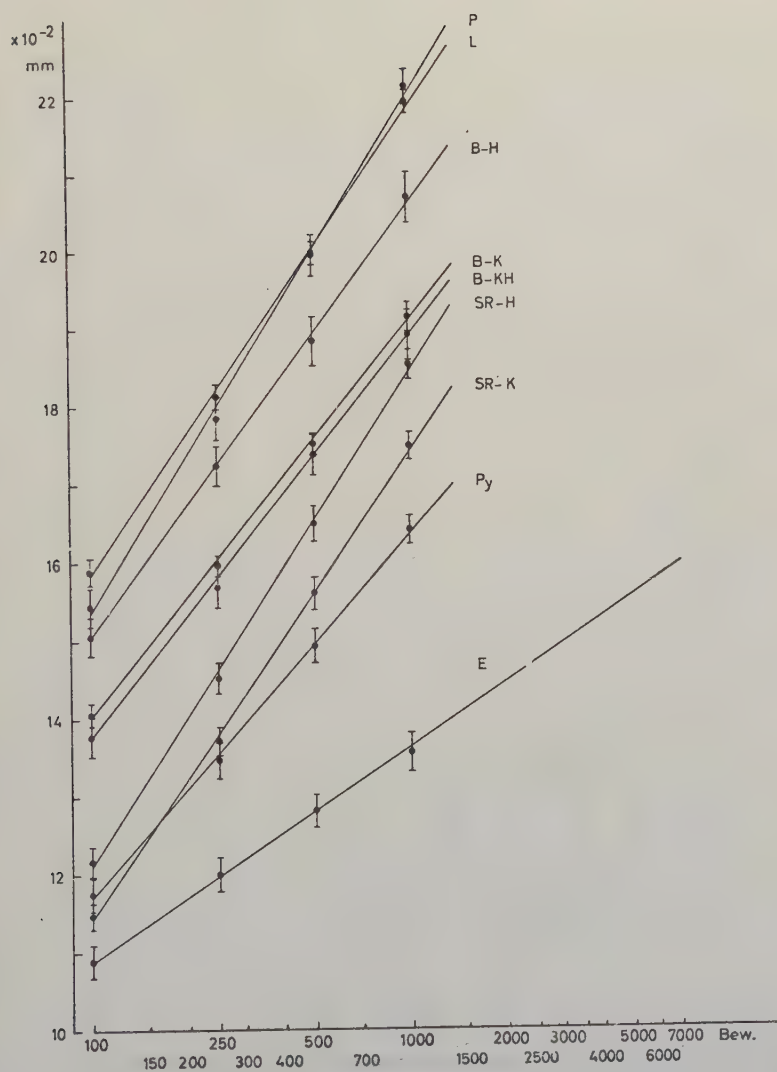


Diagramm 5

Die Entwicklung der Furchentiefen während des Abriebs bei logarithmisch aufgetragener Bewegungszahl, unter Vernachlässigung des einleitenden Geschehens im Bereich der ersten 100 Bewegungen.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen in logarithmischer Abstufung

Ordinate: Furchentiefe in  $10^{-2}$  mm

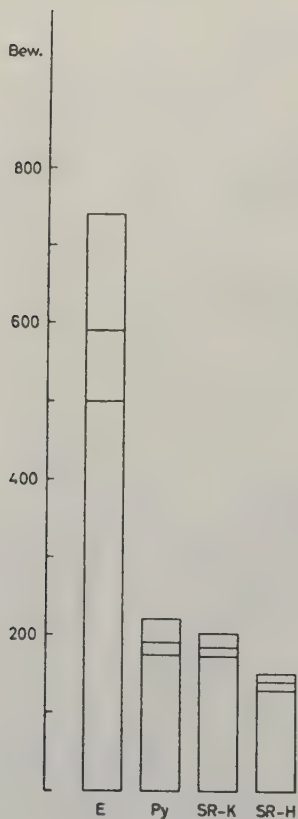


Diagramm 6

Die Einstufung der Verblendkunststoffe entsprechend ihren Abriebseigenschaften. Maßgebend für die Bemessung der Verhältnisse ist die Höhe der Bewegungsdauer, die gemäß Diagramm 5 jeweils nötig ist, um die willkürlich vorgegebene Vergleichs- oder Bezugstiefe von  $13 \times 10^{-2}$  mm zu erreichen.

Abszisse: einzelne Verblendkunststoffe

Ordinate: die (erforderliche) Anzahl der Bewegungen

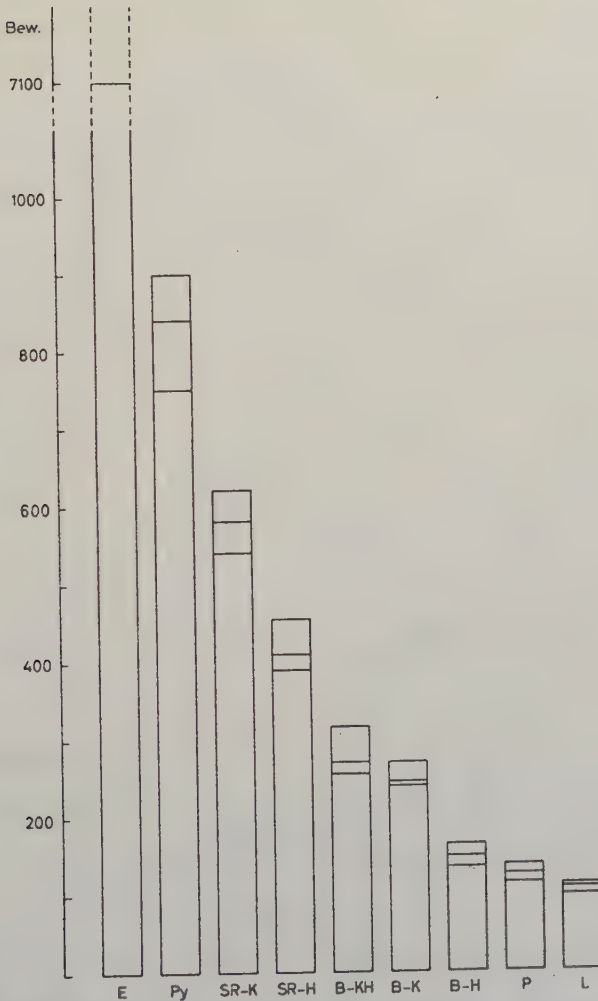


Diagramm 7

Die entsprechende Einstufung der Verblendkunststoffe  
bei einer Bezugstiefe von  $16 \times 10^{-2}$  mm.

Abzisse: einzelne Verblendkunststoffe

Ordinate: die (erforderliche) Anzahl der Bewegungen

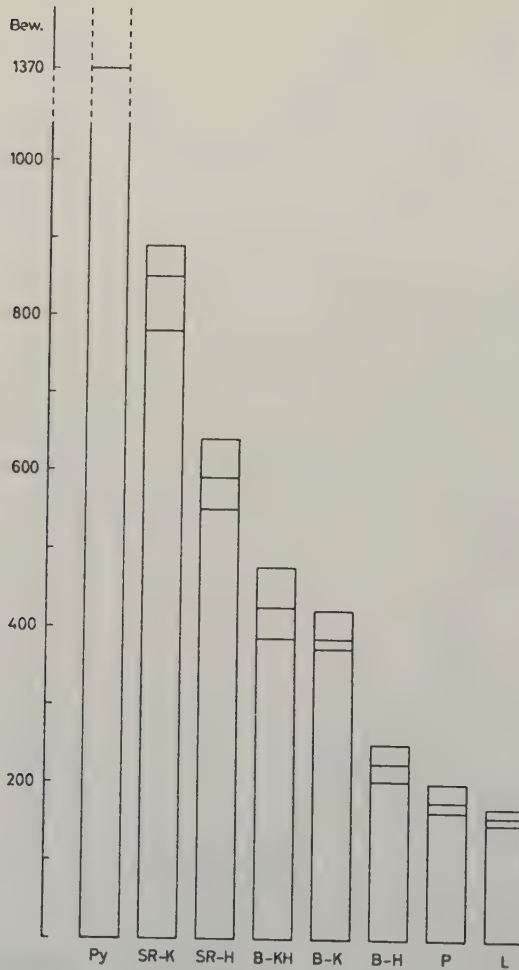


Diagramm 8

Die entsprechende Einstufung der Verblendkunststoffe bei einer Bezugstiefe von  $17 \times 10^{-2}$  mm.

Abszisse: einzelne Verblendkunststoffe

Ordinate: die (erforderliche) Anzahl der Bewegungen

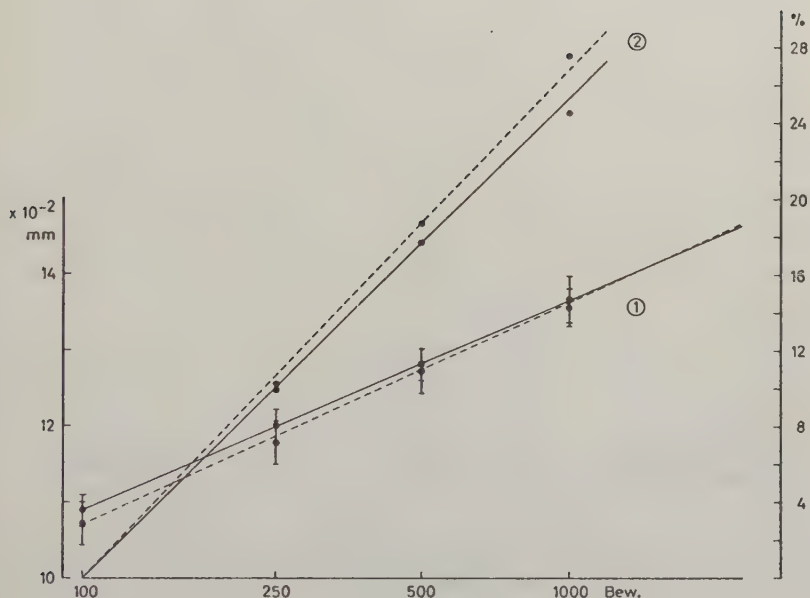


Diagramm 9

Kontrollversuch: Harz E im Abrieb gegen Schmelz- und Stahlspitzen.

(1) absoluter Zuwachs der Furchentiefen während des Abriebs

(2) ihr relativer Zuwachs

jeweils unter Vernachlässigung des einleitenden Geschehens im Bereich der ersten 100 Abriebsbewegungen.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen in logarithmischer Abstufung

Ordinate: links: Furchentiefe in  $10^{-2}$  mm  
rechts: Prozentskala - Zuwachs in Prozentanteilen des ersten Meßwertes nach 100 Bewegungen

durchgezogene Linie: Harz E im Abrieb gegen Schmelzspitzen

gestrichelte Linie: Harz E im Abrieb gegen Stahlspitzen

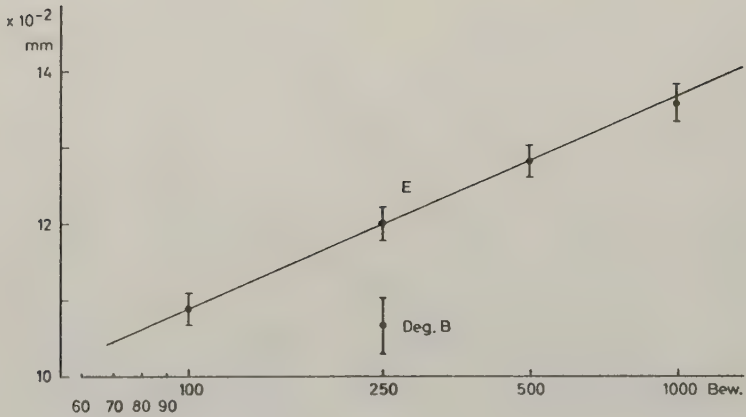


Diagramm 10

Die Entwicklung der Furchentiefe bei Harz E im Vergleich zu einem Standort von Degulator B.

Abszisse: Anzahl der abgelaufenen Bewegungen in logarithmischer Abstufung

Ordinate: Furchentiefe in  $10^{-2}$  mm

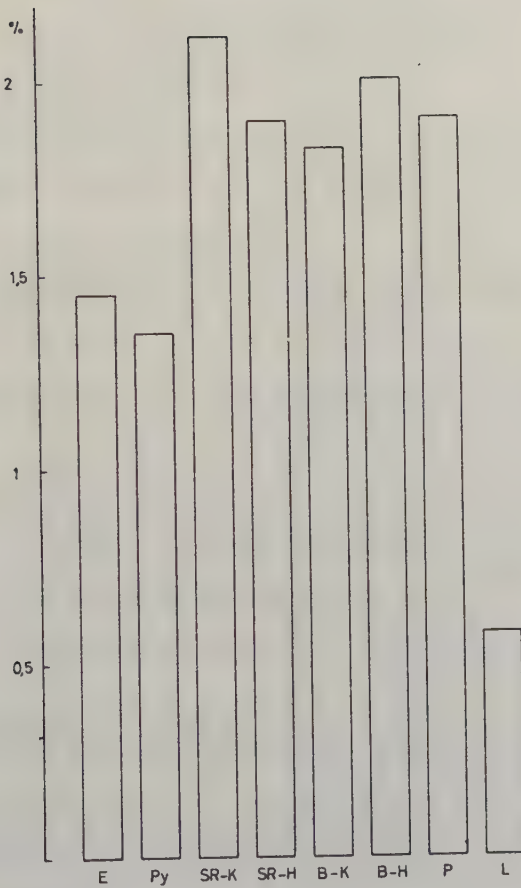


Diagramm 11

Die geprüften Verblendkunststoffe im Verhalten ihrer Wasseraufnahme. Vergleichsgrundlage ist der relative Gewichtszuwachs der wassergesättigten Körper.

Abszisse: einzelne Kunstharze

Ordinate: Prozentskala - Gewichtszunahme in Prozentanteilen des Trockengewichts

# I. L I T E R A T U R N A C H W E I S

1. APPELT H. Einführung in die mikroskopischen Untersuchungsmethoden  
Akademische Verlagsgesellschaft,  
Geest und Portig KG, Leipzig 1959
2. ARENDS J. Wichtige Eigenschaften von Kronen-  
und Brückenmaterialien  
KEIZER S. Quintessenz, 24, Referat Nr. 4844  
(1973)
3. BAUER R. Über die Abriebfestigkeit zahn-  
ärztlicher Brücken- und Brücken-  
verblendmaterialien im Vergleich  
zum Schmelz  
Med. Diss., München, 1971
4. BIESKE R. H. Neue Methode zur Untersuchung der  
Abriebfestigkeit zahnärztlicher  
Materialien  
Dtsch. Stomat. 18, 565 (1968)
5. BÖHL H. Zur Frage der Abrasion und Härte  
gebräuchlicher Kunststoffzähne  
Med. Diss., Tübingen 1956
6. BURKART W. Vom Schleifen und Polieren der  
Kunststoffe  
SCHMID O. Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 1570  
(1960)
7. BURKHARDT E. Abrieb- und Schlagabriebfestigkeit  
an handelsüblichen Dentalplasten  
VOGEL W. Dtsch. Stomat. 20, 409 (1970)
8. DRUM W. Klassifikation von Parafunktionen  
Forum Parodontologicum 12, (1962)  
in: Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 411  
(1962)
9. EICHNER K. Leitfaden zahnärztlicher Werk-  
stoffkunde  
Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH,  
Heidelberg 1970
10. EICHNER K. Kunststoffe auf dem Gebiet der  
Prothetik - eine Standortbe-  
stimmung  
Dtsch. Zahnärztebl. 24, 153 (1970)

11. EICHNER K.                      Porzellanoberfläche - ihre  
Gestalt und ihre Auswirkung  
auf die Gingiva  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 579  
(1960)
  
12. FISCHER C-H.                   Experimentelle Untersuchungen  
MÜNSTERMANN K.                   über die Ritzhärte und Schleif-  
festigkeit zahnärztlicher  
Polymerisationskunststoffe  
Stoma 6, 165 (1953)
  
13. FLERLAGE TH.                   Abrasion des Verblendkunststoffes  
MARXKORS R.                   durch Zahnpflegemittel  
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 106 (1969)
  
14. FRENZ J.                        Materialprüfungen an Kunststoff-  
zähnen und Messungen ihrer Abra-  
sion bei abnehmbarem Zahnersatz  
mit einer neuen Methode  
Med. Diss., FU Berlin, 1955
  
15. FUHR K.                         Zur Frage der Gewebsverträglich-  
keit und Mundbeständigkeit von  
Porzellan und Kunststoff unter  
Berücksichtigung der Indikation  
für den Einzelkronenersatz  
Zahnärztl. Welt 66, 195 (1965)
  
16. GUTOWSKI F. u. A.              Porzellan und Kunststoff in der  
Kronenprothetik  
Dtsch. Zahnärztebl. 17, 466 (1963)
  
17. HANSEN U.                        Über die Ursachen der Spannungs-  
rißbildung an mechanisch bearbei-  
teten Oberflächen von Formkörpern  
aus Polymethacrylsäuremethylester  
(Paladon usw.)  
Med. Diss., Kiel, 1954
  
18. HENKEL G.                        Über die "Korrosion" der Kunst-  
stoffe  
Dtsch. Stomat. 10, 828 (1960)
  
19. HILTEBRANDT C.                  Die Arbeitsphysiologie des  
menschlichen Kauorganes  
Werkverlag Dr. E. Banaschewski,  
Bad Wörishofen 1950

20. HOFMANN M.                   Erfahrungen mit kunststoff-  
verkleideten Kronen- und  
Brückenkonstruktionen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 502  
(1958)
21. HUPFAUF L.                   Okklusions- und Artikulations-  
diagnostik in der prothetischen  
Zahnheilkunde  
Praxis der Zahnheilkunde,  
Bd. III, C 3  
Urban & Schwarzenberg, München-  
Berlin-Wien (1969, 1973)
22. JANKE G.                   Über Abbauvorgänge an zahnärzt-  
lichen Kunststoffen (Alterung  
durch Korrosion)  
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 684  
(1967)
23. KÖRBER E.                   Oberflächenbearbeitung zahn-  
ärztlicher Kunststoffe  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 562  
(1960)
24. KRAFT E.                   Die Frontzahnkrone als Einzel-  
krone und Brückenanker-Planung,  
Indikation, Grenzen und Mate-  
rialfragen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1131  
(1967)
25. KRAFT E.                   Über eine Untersuchung der  
menschlichen Kaumuskel-tätigkeit  
während des Nachtschlafes  
Stoma 12, 213 (1959) und  
13, 7 (1960)
26. KRAFT E.                   Über die Beziehung zwischen Zahn-  
abrieb und Kaumuskel-tätigkeit  
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 307  
(1961)
27. KRAFT E.                   Physiologische Grundlagen und  
Technik des Brückenzahnersatzes  
Dtsch. Zahnärztebl. 19, 140 (1965)

28. KRAFT E.                   Über die Ursache der sogenannten  
Spannungsrisse an Kunststoff-  
prothesen und Kunststoffzähnen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1189  
(1955)
29. MARX H.                   Zur Polymerisationsproblematik  
dentaler Methacrylate  
Zahnärztl. Welt 61, 747 (1960)
30. MARX H.                   Vergleichende Untersuchungen  
verschiedener Polymerisations-  
verfahren unter besonderer Be-  
rücksichtigung der hydro-pneuma-  
tischen Heißpolymerisation  
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 929  
(1970)
31. MARX H.                   Ein neues Härtemeßverfahren und  
MÜLLER K.                   seine Anwendung bei der Unter-  
suchung dentaler Kunststoffe  
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 758  
(1971)
32. MARX H.                   Zur Beurteilung der "Härte" von  
Kunststoffverblendungen  
Zahnärztl. Welt 82, 615 (1973)
33. MARXKORS R.               Zum Problem des Gaumenbrennens  
unter Zahnprothesen  
Dtsch. Zahnärztebl. 16, 283  
(1962)
34. MATHE L. G.               Kunststoffe bei Kronen und  
Brücken  
Urban & Schwarzenberg, München-  
Berlin, 1954
35. MEYER H.                   Über Verfärbungen an der Ober-  
fläche von Prothesenkunststoffen  
infolge fehlerhafter Bearbeitung  
mit besonderer Berücksichtigung  
der sogenannten Spannungsrisse  
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 572  
(1960)
36. MEYER H.                   Die Relativität der Härte zahn-  
ärztlichen Werkstoffes im Spie-  
gel des Mundverhaltens  
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 312  
(1961)

37. MEYER H.                   Über die Ursachen der Abrasio  
                                  dentis  
                                  Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 941  
                                  (1959)
38. MEYER H.                   Über die Abriebfähigkeit zahn-  
                                  ärztlicher Kunststoffe  
                                  Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 180  
                                  (1955)
39. MONASKY G. E.             Studies on the wear of porcelain,  
    TAYLOR D. F.             enamel, and gold  
                                  J. Prosth. Dent. 25, 299 (1971)
40. ONTRUP D.                 Über Veränderungen an der Ober-  
                                  fläche von Kunststoffzähnen  
                                  Dtsch. Zahnärztebl. 14, 557 (1960)
41. ORBAN B. J.               Parodontologie  
                                  Übersetzt von Prof. Dr. Dr. F. Schön  
                                  Verlag "Die Quintessenz" Berlin 1965
42. PEYTON F. A.             Current evaluation of plastic in  
    CRAIG R. G.             crown and bridge prosthesis  
                                  J. Prosth. Dent. 13, 743 (1963)
43. PHILLIPS R. W.           Skinner's Science of Dental  
                                  Materials  
                                  W. B. Saunders Company,  
                                  Philadelphia-London-Toronto  
                                  Seventh Edition 1973
44. PILZ E. J.               Über das Abriebverhalten mund-  
                                  beständiger Metall-Legierungen  
                                  Med. Diss., Kiel 1963
45. POHLING W.               Experimentelle Untersuchungen von  
                                  Kunststoffzähnen und Kunststoffen  
                                  für Kronen- und Brückenverkleidung  
                                  Med. Diss., FU Berlin, 1965
46. REHBERG H.-J.           Die Bedingtheit der Härte des  
    BECHERER G.             Gipses und ihre physikalische  
                                  Deutung  
                                  Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 489  
                                  (1954)
47. REITHER W.               Neue Versuche zur Gußtechnik und  
                                  ihre Auswertung  
                                  Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 1252  
                                  (1965)

48. RITZE H.                      Quellung und Kunststoffe  
Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 1245  
(1965)
49. RITZE H.                      Frontzahnersatz: Kunststoff  
oder Porzellan  
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 905  
(1969)
50. RITZE H.                      Artikulation und Abrasion  
UDE H. J.                      Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 1220  
(1961)
51. ROSENBLUM J.                Abrasion von Kunststoffzähnen  
durch Parafunktionen des  
musculus orbicularis oris  
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 134  
(1968)
52. v. SAAL D.                   Abriebfestigkeit verschiedener  
zahnärztlicher Brückenverklei-  
dungsmaterialien  
Med. Diss., Tübingen 1963
53. SACHS L.                      Statistische Methoden  
Springer-Verlag, Heidelberg 1970
54. SAUERWEIN E.                Kariologie  
Georg Thieme Verlag  
Stuttgart 1974
55. SCHMITZ KH.                Über den Einfluß anorganischer  
DOUGHERTY E. W.              Füllstoffe auf die Abrasions-  
CATTS R.                      festigkeit dentaler Kunststoffe  
MÜLLER G.                      Dent. Lab. 21, 615 (1973)  
KOMMA O.  
SCHULMEYER H.
56. SPRENG M.                    Mitteilungen über Auflösungs-  
versuche am Kunststoff Palapont  
Schw. Mschr. f. Zahnheilk.  
53, 195 (1943)
57. STAEGEMANN G.              Altersveränderungen von hoch-  
polymeren Kunststoffen und  
deren Bedeutung für die Medizin  
Dtsch. Stomat. 18, 248 (1968)



Herrn Prof. Dr. E. Kraft gilt mein Dank für  
die freundliche Überlassung dieses Themas.

## J. LEBENS LAUF

Name: Albrecht Ernst Oskar Weinhold

Geboren am: 18. November 1947 in Hohenkirchen/  
Ostfriesland

Name der Eltern: Karl Weinhold und  
Ursula Weinhold, geb. Hempel

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung: 1954 - 1958 Volksschule in Jever/  
Ostfriesland und Opladen bei Köln,  
1958 - 1966 neusprachliches Gym-  
nasium in Opladen

Studiengang: 1968 - 1970 slawische und roma-  
nische Philologie an der Univer-  
sität zu Köln, 1970 - 1975/76  
Studium der Zahnheilkunde an der  
Universität München

Prüfungen: November 1966 Abitur,  
Februar 1970 Zwischenprüfung in  
slawischer und romanischer  
Philologie,  
Oktober 1971 naturwissenschaft-  
liche Vorprüfung,  
April 1973 zahnärztliche Vor-  
prüfung  
Februar 1976 zahnärztliche  
Prüfung

Beruf: Seit Mai 1976 Assistenzarzt in  
einer Herrschinger Zahnarztpraxis.



